



Tielaitos

Nina Karasmaa

Pääkaupunkiseudun kulkutapamallien siirrettävyys Ouluun



**Tielaitoksen
selvityksiä**

40/1995

Helsinki 1995

**S2 Liikenteen
kysyntä -projekti**

Tielaitoksen selvityksiä
40/1995

Nina Karasmaa

Pääkaupunkiseudun kulkutapamallien siirrettävyys Ouluun

Tielaitos
S2 Liikenteen kysyntä -projekti

Helsinki 1995

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-086-5
TIEL 3200317
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1995

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotepalvelut
Telefax (90) 1487 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Karasmaa, Nina: Pääkaupunkiseudun kulkutapamallien siirrettävyys Ouluun. [The Transferability of Mode Choice models of Helsinki Metropolitan Area]. Helsinki 1995. Tielaitos, tutkimuskeskus. Tielaitoksen selvityksiä 40/1995. 82 s., TIEL nro 3200317, ISBN 951-726-086-5, ISSN 0788-3722.

Aiheluokka: 11

Asiasanat: liikenne-ennustemallit, siirrettävyys, logittimalli, kulkutapa

Tiivistelmä

Työn tarkoituksena oli selvittää pääkaupunkiseudulla vuosina 1988 ja 1994 tehtyjen työ- ja muiden kotiperäisten matkojen kulkutapamallien siirrettävyyttä Ouluun. Tarkastelu perustui Oulussa vuonna 1989 tehtyyn matkatottumustutkimukseen, jonka perusteella mallit sovitettiin Oulun olosuhteisiin. Tutkitut kulkutavat olivat kevytliikenne, henkilöauto ja bussi.

Oulun ja pääkaupunkiseudun matkatottumustutkimukset vastasivat pitkälti toisiaan. Yksittäisistä muuttujista ongelmallisimmaksi osoittautui ruokakunnan tulojen estimointi. Oulun seudulla oli kysytty matkantekijän tuloja, kun taas pääkaupunkiseudulla oli kysytty ruokakunnan tuloja. Oulussa ruokakunnan tuloja ei onnistuttu estimoimaan haastatteluaineiston ja tilastotietojen perusteella, minkä vuoksi sellaisten mallien siirtämisestä luovuttiin, joissa tietoa ruokakunnan tuloista olisi tarvittu.

Matkatottumukset poikkesivat Oulussa ja pääkaupunkiseudulla selvästi toisistaan. Oulussa 44,3 % haastatelluista liikkui pyörällä tai jalan ja vain 5,2 % käytti bussia, pääkaupunkiseudulla taas kevytliikenteen osuus oli 25,9 % ja joukkoliikennettä käytti 34,5%.

Koska aineiston laatu ja määrä rajoittavat eniten mallien siirtämistä, todettiin, että pääpainon mallien siirrettävyydestä tulisi olla lähtöaineiston yhdenmukaisuuden ja sopivuuden kehittämisessä. Myös mahdollisuutta SP-aineistojen ja inkrementaalisten mallien käyttöön tulisi selvittää.

Mallien siirtämisestä saadut tulokset osoittivat, että sekä kotiperäisten työmatkojen että muiden kotiperäisten matkojen mallit olivat siirrettävissä, jos vaihtoehtokohtaiset vakiot estimoittiin uudelleen. Kulkutapajakaumien poikkeavuuden vuoksi mallien siirtäminen ilman vaihtoehtokohtaisten vakioiden uudelleenestimointia ei ollut mahdollista. Etäisyysmuuttujan ja sosioekonomisten muuttujien tasokorjaaminen paransi paikoin tuntuvastikin selityssastetta. Samalla se kuitenkin saattoi huonontaa mallien kykyä ennustaa muutosten vaikutuksia.

Liikennejärjestelmämuuttujien merkitys oli Oulussa samansuuntainen kuin pääkaupunkiseudulla. Matka-aikakomponenttien merkitystä ei kuitenkaan voitu arvioida luotettavasti tämän aineiston perusteella, koska joukkoliikenteen havaintojen vähäisyyden vuoksi mallit olivat herkkiä pienillekin mallimäärittelyjen muutoksille. Oletettavasti parhaat tulokset keskikokoisissa ja pienissä kaupungeissa saadaan malleilla, joissa on tarkasteltu kokonaismatka-aikoja.

Kokonaan uusia matkustuskäyttäytymistä selittäviä muuttujia ei löydetty. Sen sijaan muutamista pääkaupunkiseudulla käytetyistä muuttujista voitiin Oulussa luopua. Tällaisia olivat työsuhdeauton omistus, pysäköintisuhdeluku sekä pysäköintimuuttuja.

Yksi keskeinen malleihin liittyvä tekijä oli myös kevytliikenteen etäisyysmuuttujan valinta. Nyt tehdyssä tutkimuksessa matka-ajan kerroin pieneni molemmissa matkaryhmissä selvästi, jos paloittain lineaarinen etäisyysfunktio korvattiin logaritmifunktiolla. Johtopäätöksenä todettiin, että jalankulkua ja pyöräilyä tulisi lähtöalueen malleissa käsitellä erikseen, jolloin näiden kulkutapojen erilaisten osuuksien aiheuttamilta ongelmilta välttyttäisiin.

Karasmaa, Nina: The Spatial Transferability of Mode Choice Models from Helsinki Metropolitan Area to Oulu, Helsinki 1995. Finnish National Road Administration, Traffic and Road Research. Tielaitoksen selvityksiä 40/1995. 82 pages, TIEL 3200317, ISBN 951-726-086-5, ISSN 0788-3722.

Key words: traffic forecast models, model transferability, logit model, mode of travel.

Abstract

The purpose of this research was to study the transferability of mode choice models for work trips and other home-based trips from the Helsinki Metropolitan Area to the Oulu region. The research was based on a travel behaviour survey in Oulu 1989 which was used in adjusting the models to the circumstances in Oulu. The modes studied were walk and bicycle, car, and bus.

The travel behaviour surveys in the Oulu region and the Helsinki Metropolitan Area were very similar. The most problematic single question was the estimation of household income. In Oulu the traveller's income was asked while in the Helsinki area the income of the household was asked. Because it was not possible to estimate household income in Oulu from interview and statistical data, the models requiring data of that kind were excluded.

The travel behaviour in Oulu and Helsinki metropolitan area differed from each other. In Oulu 44.3 % of the interviewed people were pedestrians or bicyclists and only 5.2 % bus users, while in the Helsinki Metropolitan Area the percentage of pedestrians and cyclists was 25.9 and the percentage of public transport users 34.5.

Because the most notable restriction for model transferability is the quality and quantity of the available data, it was realised that improving uniformity and appropriateness of the source data should be emphasized in the model transferability study. Possible use of SP-data and incremental models should also be examined.

The results showed that models for both home-based work trips and other home-based trips are transferable when alternative specific constant were re-estimated. Because of distinguishing travel behaviours, transferring was not possible without re-estimation of alternative specific constants. The scale factor of distance variables and socio-economic variables particularly improved the ρ^2 -value but might have impaired the models' ability to predict effects of changes.

The importance of transportation system variables was similar than in the Helsinki Metropolitan Area. According to these data, it was not possible to estimate reliably the travel components because, due to scarce number of public transport observations, the models were sensitive to minor changes. Probably the best results in medium-sized and small towns can be achieved by models where travel times are used.

No totally new variables explaining travel behaviour were found. Instead, some variables used in the Helsinki Metropolitan Area, such as "company cars" and parking variables, were excluded from the models of Oulu.

One of the most essential factors was the choice of distance variable. In this study, the travel time coefficient was reduced obviously in both groups of trips when the disjointed linear distance function was replaced by a logarithm function. The conclusion is that problems caused by different travel behaviours can be avoided by treating pedestrian traffic and cycling separately.

Karasmaa, Nina: Överföring av huvudstadsregionens färdmedelsvalsmodeller till Uleåborg. Helsingfors 1995. Vägverket, Forskningscentral. Tielaitoksen selvityksiä 40/1995. 82 s.+liitt., TIEL nro 3200317, ISBN 951-726-086-5, ISSN 0788-3722.

Nyckelord: trafikprognoser, trafikmodellers överförbarhet, färdmedel, trafik-undersökning, trafikmodell.

Sammandrag

Avsikten med arbetet var att utreda om de färdmedelsvalsmodeller, som utarbetats för arbets- och övriga bostadsbaserade resor i huvudstadsregionen år 1988 och år 1994, är överförbara till Uleåborg. Utredningen baserade sig på en i Uleåborg år 1989 utförd resvaneundersökning, som användes som grund för att anpassa modellerna till förhållandena i Uleåborg. De färd sätt som undersöktes var gång- och cykeltrafik, personbil och buss.

Resvaneundersökningarna i Uleåborg och huvudstadsregionen motsvarade rätt så långt varandra. Av de enskilda variablerna visade sig estimeringen av hushållets inkomster vara den mest problematiska. I Uleåborg hade man bett om den resandes individuella inkomster då man i huvudstadsregionen hade bett om hela hushållets inkomster. I Uleåborg lyckades man inte skatta hushållets inkomster utgående från intervjumaterialet och statistikuppgifter och därför avstod man från att överföra sådana modeller, där man skulle ha behövt uppgifter om hushållets inkomster.

Resvanorna i Uleåborg och huvudstadsregionen skilde sig från varandra på så sätt att 44,3 % av de intervjuade i Uleåborg rörde sig till fots eller med cykel och endast 5,2 % använde buss. I huvudstadsregionen var andelen gång- och cykeltrafik 25,9 % och andelen kollektivtrafik 34,5 %.

Eftersom undersökningsmaterialets kvalitet och mängd utgör de största begränsningarna för modellers överförbarhet, konstaterade man att huvudvikten vid en undersökning om modellers överförbarhet borde fästas vid utvecklandet av utgångsmaterialets enhetlighet och lämplighet. Man borde också utreda möjligheterna att använda SP-material och inkrementala logitmodeller.

Resultaten från modellernas överföring visade, att modellerna för såväl bostadsbaserade arbetsresor som för övriga bostadsbaserade resor var överförbara under förutsättning att konstanterna för de olika alternativen estimerades på nytt. Utan att estimer konstanterna för de olika alternativen på nytt var det på grund av de avvikande färdmedelsfördelningarna omöjligt att överföra modellerna. Genom att skatta avståndsvariabeln och de socioekonomiska variablerna med skalfaktorer kunde man i vissa fall höja modellernas förklaringsgrad avsevärt. Samtidigt kunde detta dock försämra modellernas förmåga att ge prognoser om förändringarnas verkningar i trafiksystemet.

Betydelsen av parametrarna för trafikstandard var likartade som i huvudstadsregionen. Utgående från detta material kunde man dock inte uppskatta restidskomponentens verkliga betydelse, eftersom modellerna på grund av det ringa antalet kollektivtrafikobservationer var känsliga för även små förändringar. Man kan anta, att de bästa resultaten i medelstora och små städer erhålls med sådana modeller, där man har undersökt totala restider. Helt nya variabler för att förklara resvanor hittades inte. Däremot kunde man i Uleåborg helt avstå från några variabler som använts i huvudstadsregionen. Sådana variabler var "förmånsbil" och parkeringsvariabler.

En central faktor som berörde modellerna var också valet av avståndsvariabel. I denna undersökning minskade koefficienten för restid klart för såväl arbets- som övriga bostadsbaserade resor, om den styckvis lineära avståndsfunktionen ersattes med en logaritmfunktion. Slutsatsen var att gång- och cykeltrafik borde behandlas skilt i de ursprungliga modellerna, varvid man kunde undvika de problem, som förorsakas av dessa färd sätts olika andelar.

Alkusanat

Tielaitos käynnisti osana Liikenteen kysyntä -strategista projektia keväällä 1994 yhdessä Teknillisen korkeakoulun liikennelaboratorion kanssa tutkimuksen liikenne-ennustemallien siirrettävyydestä. Jos mallit ovat alueellisesti siirrettäviä, liikenne-ennusteita ja niiden vaatimia selvityksiä voidaan tehdä huomattavasti helpommin ja edullisemmin kuin jos mallit jouduttaisiin joka kerta kehittämään alusta.

Työn aluksi tehtiin kirjallisuusselvitys, johon koottiin keskeisiä aiheeseen liittyviä koti- ja ulkomaisia tutkimuksia. Selvitys on ilmestynyt tielaitoksen selvityksiä sarjassa (TIEL 3200280). Nyt julkaistavassa selvityksessä on tarkasteltu pääkaupunkiseudulla LITU88:n yhteydessä tehtyjen kulkutapamallien siirrettävyyttä Ouluun.

Selvityksen on Teknillisessä korkeakoulussa tehnyt dipl.ins. Nina Karasmaa ja työn valvojana on toiminut apul.prof. Matti Pursula. Tielaitoksen tutkimuskeskuksessa yhdyshenkilönä on ollut suunnittelija Riitta Viren.

Helsingissä toukokuussa 1995

Tielaitos

Tutkimuskeskus

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	3
SAMMANDRAG	4
ABSTRACT	5
ALKUSANAT	7
SISÄLLYSLUETTELO	9
KUVALUETTELO	11
TAULUKKOLUETTELO	12
1. JOHDANTO	15
2. LIIKENNE-ENNUSTEMALLIEN SIIRRETTÄVYYS	16
2.1 Yleistä	16
2.2 Haastatteluaineiston merkitys siirrettävyydelle	17
3. LOGITTIMALLIN TEORIAA	19
3.1 Hyödyn käsite, hyötyfunktio ja valintatodennäköisyys	19
3.2 Logittimallin kertoimien estimointi	21
3.3 Siirtotavat	22
3.4 Siirrettävyyden testaaminen	24
3.5 Liikenne-ennustemallien alueellisesta siirrettävyydestä saatuja kokemuksia	28
4. TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA AINEISTOJEN KUVAUS	31
4.1 Tavoitteet ja sisältö	31
4.2 Oulun seudun liikennetutkimus	32
4.21 Matkatottumukset	32
4.22 Liikenneverkon kuvaukset	33
4.3 Pääkaupunkiseudun liikennetutkimus	34
4.31 Matkatottumukset	34
4.32 Liikenneverkon kuvaukset	36
4.4 Pääkaupunkiseudun liikennemallien periaatteet	37
4.5 Oulun tutkimusaineiston soveltuvuus pääkaupunkiseudun mallirakenteeseen ja aineiston uudelleen käsittely	38
5. PÄÄKAUPUNKISEUDUN KULKUTAPAMALLIEN SIIRTÄMINEN OULUUN	43
5.1 Kotiperäisten työmatkamallien siirto	43
5.11 Alkuperäiset mallit	43
5.12 Tulokset laajan työmatkamallin siirrosta	45
5.13 Tulokset suppean työmatkamallin siirrosta	48
5.2 Muiden kotiperäisten matkojen EHAP-ryhmän mallin siirto	53
5.3 Muiden kotiperäisten matkojen HAP-ryhmän mallin siirto	58

6.	TULOSTEN TARKASTELUA	61
7.	YHTEENVETO	67
8.	LÄHDELUETTELO	70
9.	LIITTEET	73

KUVALUETTELO

- Kuva 1. Logittifunktio eri μ :n arvoilla kahden vaihtoehdon tapauksessa.
- Kuva 2. Kaaviokuva vaihtoehtokohtaisten vakioden uudelleen estimoinnista.
- Kuva 3. Autoliikenteen tuntivaihtelu Oulun keskustan sisäkehällä vuonna 1989.
- Kuva 4. Oulun ja pääkaupunkiseudun matkatottumustutkimuksissa tehtyjen työmatkojen pituusjakaumat kulkutavoittain.
- Kuva 5. Ajoneuvokustannusten 10 %:n nousun vaikutus Oulun työmatkojen kulkutapajakaumaan laajoilla malleilla ennustettuna.
- Kuva 6. Joukkoliikenteen matka-ajan 30 %:n kasvun vaikutus Oulun työmatkojen kulkutapajakaumaan laajoilla malleilla ennustettuna.
- Kuva 7. Ajoneuvokustannusten 10 %:n nousun vaikutus Oulun työmatkojen kulkutapajakaumaan suppeilla malleilla ennustettuna.
- Kuva 8. Joukkoliikenteen matka-ajan 30 %:n kasvun vaikutus Oulun työmatkojen kulkutapajakaumaan suppeilla malleilla ennustettuna.
- Kuva 9. Ajoneuvokustannusten 10 %:n nousun vaikutus muiden kotiperäisten matkojen kulkutapajakaumaan EHAP-ryhmän eri malleilla ennustettuna.
- Kuva 10. Joukkoliikenteen matka-ajan 30 %:n kasvun vaikutus muiden kotiperäisten matkojen kulkutapajakaumaan EHAP-ryhmän eri malleilla ennustettuna.
- Kuva 11. Ajoneuvokustannusten 10 %:n nousun vaikutus muiden kotiperäisten matkojen kulkutapajakaumaan HAP-ryhmän eri malleilla ennustettuna.
- Kuva 12. Joukkoliikenteen matka-ajan 30 %:n kasvun vaikutus muiden kotiperäisten matkojen kulkutapajakaumaan HAP-ryhmän eri malleilla ennustettuna.
- Kuva 13. Havaintoaineiston määrän vaikutus matka-ajan kertoimeen muiden kotiperäisten matkojen EHAP-ryhmän malleissa
- Kuva 14. Suppeissa työmatkamalleissa käytetyn lineaarisen ja logaritmisin etäisyysmuuttujan kuvaajat.

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko	1.	Helsingborgiin, Osloon ja Trondheimiin siirrettyjen mallien tasokorjaustarve ja selitysasteet.
Taulukko	2.	Oulun henkilöhaastatteluaineiston jakautuminen pääkaupunkiseudun mallityössä käytetyn määrittelyn mukaisiin matkaryhmiin.
Taulukko	3.	Eri kulkutapojen osuus Oulun malliaineistossa matkaryhmittäin.
Taulukko	4.	Pääkaupunkiseudun henkilöhaastatteluaineiston jakautuminen pääkaupunkiseudun mallityössä käytetyn määrittelyn mukaisiin matkaryhmiin (sisäiset matkat).
Taulukko	5.	Eri kulkutapojen osuus pääkaupunkiseudun malliaineistossa matkaryhmittäin.
Taulukko	6.	Pääkaupunkiseudun mallien siirtämisessä käytetyt auto- ja joukkoliikenteen viivytysfunktiot.
Taulukko	7.	Pääkaupunkiseudun työmatkojen laajan kulkutapamallin kertoimet ja kertoimien t-arvot.
Taulukko	8.	Pääkaupunkiseudun työmatkojen suppean kulkutapamallin kertoimet ja kertoimien t-arvot.
Taulukko	9.	Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen laajojen työmatkamallien kertoimet ja kertoimien t-arvot.
Taulukko	10.	Oulun ja pääkaupunkiseudun laajojen työmatkamallien vaihtoehtokohtaisten vakioiden poikkeavuus toisistaan t-testillä mitattuna.
Taulukko	11.	Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirretyn tasokorjatun laajan työmatkamallin tasokorjauskertoimien poikkeavuus nollassa ja ykkösestä.
Taulukko	12.	Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen laajojen työmatkamallien kulkutapaosuudet eri malleilla ennustettuna.
Taulukko	13.	Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen suppeiden työmatkamallien kertoimet ja kertoimien t-arvot.
Taulukko	14.	Oulun ja pääkaupunkiseudun suppeiden työmatkamallien vaihtoehtokohtaisten vakioiden poikkeavuus toisistaan t-testillä mitattuna.

- Taulukko 15. Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirretyn tasokorjatun suppean työmatkamallin tasokorjauskertoimien poikkeavuus nolasta ja ykkösestä.
- Taulukko 16. Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen suppeiden työmatkamallien kulkutapaosuudet eri malleilla ennustettuna.
- Taulukko 17. Pääkaupunkiseudun muiden kotiperäisten matkojen EHAP-ryhmän kulkutapamallin (perusmalli) kertoimet ja kertoimien t-arvot.
- Taulukko 18. Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen muiden kotiperäisten matkojen EHAP-ryhmän mallien kertoimet ja kertoimien t-arvot.
- Taulukko 19. Oulun ja pääkaupunkiseudun muiden kotiperäisten matkojen EHAP-ryhmälle tehtyjen kulkutapamallien vaihtoehtokohtaisten vakioiden poikkeavuus toisistaan t-testillä mitattuna.
- Taulukko 20. Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirretyn muiden kotiperäisten matkojen tasokorjatun EHAP-ryhmän mallin tasokorjauskertoimien poikkeavuus nolasta ja ykkösestä.
- Taulukko 21. Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen muiden kotiperäisten matkojen kulkutapaosuudet EHAP-ryhmän eri malleilla ennustettuna.
- Taulukko 22. Pääkaupunkiseudun muiden kotiperäisten matkojen HAP-ryhmän kulkutapamallin (perusmalli) kertoimet ja kertoimien t-arvot.
- Taulukko 23. Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen muiden kotiperäisten matkojen kulkutapaosuudet HAP-ryhmän eri malleilla ennustettuna.
- Taulukko 24. Yhteenveto pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen kulkutapamallien tasokorjaustarpeesta.
- Taulukko 25. Suppeita työmatkamalleja estimoituna erilaisia kevytliikenteen etäisyysmuuttujia käyttäen.

1 JOHDANTO

Tässä selvityksessä tutkitaan pääkaupunkiseudun liikennetutkimuksen LITU 88:n yhteydessä tehtyjen kulkutapamallien siirrettävyyttä Ouluun. Tarkastelu perustuu Oulun seudulla vuonna 1989 ja pääkaupunkiseudulla vuosina 1987 - 1990 tehtyihin liikennetutkimuksiin, joiden perusteella alueille on laadittu mallijärjestelmät.

Liikenne-ennustemallien siirrettävyyttä on tutkittu Suomessa lähinnä kirjallisuuden perusteella. Oulun yliopistossa vertailtiin vuonna 1990 pääkaupunkiseudun, Jyväskylän, Oulun ja Rovaniemen seudun matkatuotosmalleja. Vuonna 1995 tielaitos julkaisi Teknillisen korkeakoulun liikennelaboratoriossa tehdyn kirjallisuusselvityksen, jossa mallien siirtämistä koskevia tuloksia on tarkasteltu ulkomailla saatujen kokemusten perusteella.

Yhtenä syynä tutkimusten vähäisyyteen on ollut sopivan lähtöaineiston puuttuminen. Riittävän luotettavien ja yleispätevien mallien lisäksi siirrettävyyden tutkiminen edellyttää, että alueella, jonne malleja siirretään, on tehty vastaavat matkatottumustutkimukset kuin lähtöalueella. Ero liikennemallien uudelleenestimoinnin ja siirtämisen välillä on aineiston määrässä ja tarkkuudessa. Yleisesti on otaksuttu, että liikennemallin täydellinen uudelleenestimointi vaatii 2 - 4 kertaa enemmän havaintoja kuin vaativastikin toteutettu mallin siirtäminen.

Suomessa mallien siirtämiseen sopiva lähtö- ja malliaineisto on YTV:n yhdessä liikenneministeriön ja pääkaupunkiseudun kuntien kanssa vuosina 1987 - 90 tekemä liikennetutkimus (LITU 88), jossa on hankittu monipuoliset tiedot pääkaupunkiseudun nykyisestä liikenteestä ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Aineiston perusteella on kehitetty liikennemallit, joita on käytetty ja tullaan käyttämään ennusteiden laatimisessa sekä arvioitaessa maankäyttöä, liikennejärjestelmää ja liikennepolitiikkaa koskevien keskeisten ratkaisujen vaikutuksia.

Myös Jyväskylän, Oulun ja Rovaniemen seuduilla on tehty tutkimuksia, joiden toteuttamistapa vastaa jossain määrin pääkaupunkiseudun tutkimuksia. Näistä Oulussa vuonna 1989 tehty liikennetutkimus täyttää parhaiten siirrettävyystudkimuksen kohdealueen aineistolle asetetut vaatimukset.

Tämän työn tavoitteena on selvittää pääkaupunkiseudun kulkutapamallien soveltuvuutta Ouluun sekä siirtokokeiden avulla arvioida mallirakenteen ja muuttujien valinnan sekä lähtötietojen määrän ja laadun vaikutusta kulkutapamallien siirrettävyyteen. Koska pääkaupunkiseudun kulkutapamallit ovat logittimalleja, käsitellään raportin alussa lyhyesti logittimallien siirtämiseen ja testaamiseen liittyvää teoriaa sekä aiempia kokemuksia logittimallien siirtämisestä. Luvussa neljä kuvataan tutkimusaineistoa ja sen soveltuvuutta pääkaupunkiseudun mallirakenteeseen. Mallien siirtämisestä saatuja tuloksia käsitellään luvuissa viisi ja kuusi.

2 LIIKENNE-ENNUSTEMALLIEN SIIRRETTÄVYYS

2.1 Yleistä

Liikenne-ennustemallien siirrettävyydellä tarkoitetaan tiettyyn paikkaan tiettyä aikana tehdyn mallin soveltuvuutta käytettäväksi jossakin toisessa paikassa tai toisena ajankohtana. Jotta mallit voivat olla siirrettäviä, tulee mallin parametrien olla mahdollisimman vakaita sekä ajan että paikan suhteen. Malleja siirrettäessä on myös varmistuttava, että mallien taustalla oleva teoria tukee siirtämistä ja että mallirakenne on siirrettävissä.

Alueellista siirrettävyyttä voidaan tutkia vertaamalla kahdella eri paikkakunnalla tehtyjä malleja (esimerkiksi Helsinki ja Oulu) tilastollisesti toisiinsa. Nollahypoteesi on tällöin mallien identtisyys ja perusajatuksena on tutkia olisiko olemassa jotain yleistä mallia, joka toimisi kaikkialla. Yleensä on havaittu, ettei tällaista yleispätevää mallia ole olemassa.

Toinen tapa on ajatella, että mallit ovat arvioita todellisuudesta. Tällöin ollaan kiinnostuneita siitä, voidaanko jonkin tietyn toimenpiteen vaikutuksia nykytilanteessa selittää jo aiemmin jossakin muualla tehdyillä malleilla. Siirretyn mallin ei tällöin tarvitse olla "oikea" uudessa kohteessa, vaan riittää, että sitä voidaan käyttää mahdollisimman hyvin hyödyksi.

Hansen [1981] sekä Brand ja Cheslow [1981] luokittelevat liikenne-ennustemallien siirrettävyyden

- * mallien taustalla olevan teorian kuten päätöskriteerin (hyödyn maksimointi) siirrettävyyteen
- * eri mallityyppien (esimerkiksi logittimalli) siirrettävyyteen
- * mallirakenteen ja -määritelmien (esimerkiksi liikennejärjestelmämuuttajat) siirrettävyyteen ja
- * malliparametrien siirrettävyyteen.

Logittimallien siirrettävyyttä tutkittaessa oletetaan yleensä, että kaksi ensimmäistä ehtoa täyttyvät ja kahta jälkimmäistä kohtaa testataan.

Kiinnostus mallien siirtämistä kohtaan johtuu mm. siitä, että mallin ajallinen siirrettävyys on edellytys sille, että mallia voidaan käyttää ennustamiseen. Jos mallit lisäksi ovat alueellisesti siirrettäviä, voidaan liikenne-ennusteisiin liittyviä selvityksiä tehdä huomattavasti helpommin ja edullisemmin kuin jos mallit jouduttaisiin joka kerta estimoimaan uudestaan.

Liikenne-ennustemallien siirrettävyyttä on tutkittu Suomessa lähinnä kirjallisuuden perusteella [liikenneministeriö 1992, Karasmaa ja Pursula 1995], mutta kokemukset Ruotsista, Ranskasta ja Hollannista ovat olleet hyviä. Tulokset ovat osoittaneet, että liikenne-ennustemallien siirtäminen on mahdollista, jos alkuperäiset mallit ovat hyviä. Tällä tarkoitetaan, että malliparametrit ovat vakaita sekä ajan että paikan suhteen ja että mallirakenteet eri matkaryhmissä ovat yhdenmukaisia.

Vertailtaessa taajama- ja haja-asutusalueille tehtyjä malleja on havaittu, että taajamiin tehtyt mallit ovat soveltuneet hyvin myös toisiin taajamiin, mutta siirto haja-asutusalueiden ja taajamien välillä ei ole antanut hyviä tuloksia [Algers, Colliander ja Widlert 1987].

Lisäksi useimmissa tutkimuksissa on todettu, että ihmiset eri kaupungeissa ja maissa reagoivat suunnilleen samalla tavoin matka-ajan ja matkakustannusten muutoksiin silloin, kun muut olosuhteet vastaavat toisiaan. Sen sijaan sosioekonomisten tekijöiden vaikutusten vastaavuus on huonompi.

2.2 Haastatteluaineiston merkitys siirrettävyydelle

Tutkimustulokset eri haastattelumenetelmien hyvyydestä ja sopivuudesta kuhunkin tarkoitukseen ovat keskenään ristiriitaisia. Mallien siirrettävyyden kannalta tärkeää on ottaa huomioon, miten hyvin tutkimusmenetelmät lähtö- ja kohdealueella vastaavat toisiaan. Tutkimusaineistot tulisi kerätä yhdenmukaisella tavalla ja kaikissa matkaryhmissä tulisi pyrkiä yhdenmukaisiin mallirakenteisiin. Lisäksi kysymysten asettelu tulisi olla sellainen, että vastaukset voidaan tulkita yksiselitteisesti.

Yleisin tapa yksilön tapojen ja tottumusten sekä taustatietojen selvittämiseksi on tehdä haastattelututkimus, jossa henkilöltä kysytään tiettyjä matkustamiseen liittyviä kysymyksiä ja hänen taustatietojansa. RP-menetelmällä (Revealed Preference) tehdyissä haastatteluissa matkatiedot hankitaan tarkastelemalla matkustajien käyttäytymistä ja haastattelemalla liikkuja todellisissa matkustustilanteissa. SP-menetelmät (Stated Preference) tarjoavat mahdollisuuden arvioida liikkujien käyttäytymistä silloinkin, kun kyseessä olevaa järjestelmää ei ole vielä edes olemassa.

Otoksen valintatavan ja kysymysten kohdistamisen mukaan haastattelumenetelmät jaetaan ruokakunta- ja henkilöhaastatteluihin. Ruokakuntahaastattelussa perusjoukon muodostavat tutkimusalueen taloudet, joilta kysytään koko taloutta koskevia kysymyksiä. Henkilöhaastattelussa perusjoukon muodostavat kaikki tutkimusalueella asuvat ihmiset.

Haastattelu voidaan tehdä monella menetelmällä. Yleensä käytetään postikyselyä tai puhelinhaastattelua. Harvemmin käytetty, mutta tulosten kannalta paras vaihtoehto on kotihaastattelu.

Epävarmuutta tuloksiin voivat aiheuttaa tutkimukseen vastaamatta jättäneet henkilöt. Brögin ja Meyburgin [1981] mukaan henkilökohtaisista haastattelututkimuksista saattavat jäädä pois paljon matkoja tekevät, koska heitä on vaikeampi tavoittaa tai heillä on niin kiire, että he kieltäytyvät haastattelusta. Postikyselyssä matkojen määrä taas helposti tulee liian suureksi, koska henkilöt, jotka eivät tee matkoja, eivät myöskään vastaa kyselyyn.

Oslossa vuonna 1990 tehdyn puhelinhaastattelun matkaluku oli noin 40 % postikyselyssä saatua korkeampi. Tämän katsottiin johtuvan siitä, että postikyselyssä osa pyöräily- ja kävelymatkoista jäi ilmoittamatta [Algers et al. 1994].

Ongelma on suurin ennustettaessa kevytliikenteen matkoissa tapahtuvia muutoksia (lähikauppa saattaa tulevaisuudessa olla automatkan päässä oleva market), koska muutosten arviointi edellyttää, että lyhyet kevytliikenteen matkat ovat aineistossa mukana.

Myös tutkimusajalla on havaittu olevan vaikutusta tuloksiin [Brög ja Meyburg 1981]. Tämän on arveltu johtuvan liikenteen kausivaihtelusta eri vuodenaikoina. Runsaasti liikkuvat ihmiset, jotka vastaavat syksyllä ja talvella tehdyissä tutkimuksissa ensimmäisten joukossa, ehtivät vastaamaan tutkimuksiin keväällä ja kesällä vasta useiden muistutusten jälkeen. Näin ollen heidän vaikutuksensa ei tule otetuksi huomioon, jos tutkimuksen palautusprosentti jää alhaiseksi.

3 LOGITTIMALLIN TEORIAA

3.1 Hyödyn käsite, hyötyfunktio ja valintatodennäköisyys

Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettävät kulkutapamallit on tehty logittimalleilla. Logittimalli on yksilömalli, jonka käyttö perustuu oletukseen [Ortúzar ja Willumsen 1990], että yksilön todennäköisyys valita tietty vaihtoehto riippuu vaihtoehtojen suhteellisesta houkuttelevuudesta ja yksilön sosioekonomisista ominaisuuksista. Malleihin liittyy oletus, että valinnan tekijä käyttäytyy johdonmukaisesti ja kykenee asettamaan tarjolla olevat vaihtoehdot järjestykseen.

Valittavissa olevan vaihtoehtojen houkuttelevuutta mitataan hyötyfunktioilla. Hyötyfunktion U_{in} ajatellaan koostuvan kahdesta osasta: deterministisestä, mitattavissa olevasta osasta V_{in} ja stokastisesta osasta ε_{in} . Vaihtoehtoon i ja henkilöön n liittyvä hyötyfunktio on siten muotoa:

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (1)$$

Hyödyn stokastisuudesta on kaksi etua. Ensinnäkin satunnaistekijän ε_{in} voidaan kuvitella sisältävän kaikki ne mittaamattomat tekijät, joita deterministinen osa V_{in} ei sisällä. Ei siis tarvitse luopua oletuksesta, että ihminen valitsee aina vaihtoehtojen, jonka antama hyöty on suurin. Stokastisen tekijän toinen etu on, että tilastollinen testaus on mahdollista, koska voidaan laskea vaihtoehtojen valintatodennäköisyydet.

Hyötyfunktion mitattavissa oleva osa esitetään yleensä muuttujien X_1, \dots, X_m lineaarikombinaationa seuraavasti:

$$V = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m,$$

missä β_1, \dots, β_m ovat estimoitavat kertoimet. (2)

Hyötyfunktion muuttujat voidaan jakaa yleisiin (generic) ja vaihtoehtokohtaisiin (alternative specific) muuttujiin. Yleinen muuttuja esiintyy kaikkien vaihtoehtojen hyötyfunktiossa (arvo vaihtelee, mutta kerroin on sama), kun taas vaihtoehtokohtainen muuttuja on mukana vain oman vaihtoehtonsa hyötyfunktiossa.

Vaihtoehtokohtaisten vakioiden avulla kuvataan niitä valintaan vaikuttavia tekijöitä, joita muut muuttujat eivät kykene selittämään. Vaihtoehtokohtaisia vakioita voi olla hyötyfunktioissa $J-1$ kappaletta, kun J on vaihtoehtojen lukumäärä.

Jos päätöksentekijä on rationaalinen, hän valitsee vaihtoehtojen, joka tuottaa hänelle suurimman hyödyn. Tällöin päätöksentekijälle n , joka valitsee vaihtoehtojen i tarjolla olevasta vaihtoehtojoukosta j , on mahdollista kirjoittaa:

$$V_{in} + \varepsilon_{in} \geq V_{jn} + \varepsilon_{jn}, \quad \text{missä } i \neq j. \quad (3)$$

Jotta malli voidaan estimoida, pitää tuntea satunnaistekijän jakauma. Probittimallissa oletetaan, että satunnaistermit ovat normaalijakautuneita. Probittimallin estimointi on kuitenkin hyvin hankalaa, jos vaihtoehtoja on enemmän kuin kaksi. Estimoinnin kannalta yksinkertaisemmassa logittimallissa oletetaan, että eri vaihtoehtoihin i ja eri havaintoihin (valintoihin) n liittyvät satunnaistermit ε_{in}

- * ovat toisistaan riippumattomia
- * ovat samalla tavalla jakautuneita ja
- * noudattavat Gumbelin jakaumaa.

Näillä oletuksilla havaintoon n liittyvä todennäköisyys P_{in} valita vaihtoehto i on [Ben-Akiva ja Lerman 1985]:

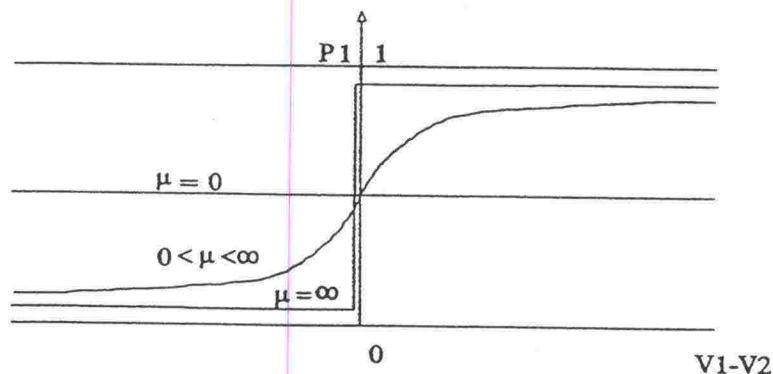
$$P_{in} = \frac{e^{\mu V_{in}}}{\sum_{j=1}^J e^{\mu V_{jn}}} \quad (4)$$

Logittimalli on siis yksilömalli, jolla ennustetaan todennäköisyyttä, jolla tietty yksilö tietyssä tilanteessa valitsee määrätyn vaihtoehdon. Vaihtoehto, jonka hyöty on suurin, saa suurimman valintatodennäköisyyden (ja valitaan).

Kaavassa 4 muotoparametrin μ suuruus riippuu stokastisen termin ε varianssista siten, että mitä pienempi varianssi σ^2 on, sitä suuremman arvon μ saa ja sitä herkempi malli on muuttujien arvon vaihteluille. Yksinkertaisuuden vuoksi μ :n oletetaan yleensä saavan arvon 1:

$$\mu^2 = \frac{\pi^2}{6 \text{var}(\varepsilon)} \quad (5)$$

Todennäköisyyttä, että henkilö valitsee tietyn vaihtoehdon, voidaan havainnollistaa kuvalla 1.



Kuva 1: Logittifunktio eri μ :n arvoilla kahden vaihtoehdon tapauksessa.

Koska käyrä on S-muotoinen, ei valintatodennäköisyys riipu lineaarisesti selittävistä muuttujista. Muuttujien vaihtelut vaikuttavat eniten käyrän keskivaiheilla. Jos lähes kaikki yksilöt valitsevat saman vaihtoehdon samassa tilanteessa, lähestyy satunnaistekijän varianssi nollaa ja muotoparametrin μ arvo äärettömyyttä.

Logittimallin tärkeimpiä ominaisuuksia on riippumattomuus epäolennaisista vaihtoehdoista (Independence from Irrelevant Alternatives, IIA). IIA-ominaisuus tarkoittaa, että kahden vaihtoehdon valintatodennäköisyyksien suhde ei riipu muiden vaihtoehtojen hyödyn (deterministisen osan) suuruudesta.

IIA-ominaisuuden etuna on, että malli voidaan estimoida pienelle osajoukolle. Malleja siirrettäessä voidaan esimerkiksi mallintaa valintaa auton ja bussin välillä ilman, että muita kulkutapoja on pakko tarkastella. Periaatteessa uuden vaihtoehdon vaikutuksia voidaan tarkastella lisäämällä vaihtoehto mallin nimeäjänsä. Haittana on, että ennuste on virheellinen, jos uusi vaihtoehto muistuttaa ominaisuuksiltaan liikaa jo olemassa olevia vaihtoehtoja.

Logittimallissa vaihtoehdot eivät siis saa olla ominaisuuksiltaan liian lähellä toisiaan. Joissakin tapauksissa on kuitenkin tarpeen mallintaa valintoja, joissa osa vaihtoehdoista on joiltakin ominaisuuksiltaan samanlaisia. Malleja siirrettäessä tällainen tilanne voisi olla, jos kohdepaikkakunnalla haluttaisiin tarkastella raideliikennettä malleilla, joissa alunperin on mukana vain bussi ja henkilöauto. Tällöin mallit jouduttaisiin estimoimaan puurakenteen avulla, jossa samankaltaiset vaihtoehdot (bussi ja raideliikenne) haarautuisivat keinoitekoisesta vaihtoehdosta (joukkoliikenne). Tällaisessa strukturoidussa mallissa IIA-ominaisuus ei välttämättä toteudu haarojen välillä, mutta toteutuu aina kunkin tason sisällä.

Esimerkkitapauksessa kulkutapamallin suoraan siirtäminen edellyttää, että raideliikenteen parametrit oletetaan geneerisiksi bussivaihtoehdon kanssa. Tällöin malleja siirrettäessä raideliikenteen muuttujille käytetään samoja parametreja kuin bussille. Jos muuttujat eivät todellisuudessa ole geneerisiä, uuden kulkutavan lisääminen vaatii malliparametrien uudelleenestimoinnin.

3.2 Logittimallin kertoimien estimointi [Ben-Akiva ja Lerman 1985]

Logittimallin kertoimet estimoidaan yleisimmin suurimman uskottavuuden (= maximum-likelihood) menetelmällä. Menetelmän perusajatuksena on valita tuntemattomat parametrit siten, että saatu otos on mahdollisimman todennäköinen. Tämä tapahtuu maksimoimalla mallilla laskettujen todennäköisyyksien tulo otannassa oleville yksilöille.

Suurimman uskottavuuden funktio on muotoa:

$$L^* = \prod_{n=1}^N \prod_{i \in C_n} P_{in}^{y_{in}}, \quad (6)$$

missä $y_{in} = 1$, jos yksilö n valitsee vaihtoehdon i
 $y_{in} = 0$, jos yksilö n valitsee vaihtoehdon $j \neq i$
 C_n = havaintoon n liittyvä vaihtoehtojoukko.

Ratkaisun helpottamiseksi uskottavuusfunktio useimmiten logaritmoidaan. Jos hyötyfunktio on lineaarinen, on log-uskottavuusfunktio:

$$L = \sum_{n=1}^N \sum_{i \in C_n} y_{in} (\beta^T x_{in} - \ln \sum_{j \in C_n} e^{\beta^T x_{jn}}), \quad (7)$$

missä $\beta^T x_{in} = \sum_{k=1}^K \beta_k x_{ink}$ on hyötyfunktion deterministinen osa.

Maksimissa uskottavuusfunktion ensimmäisten osittaisderivaattojen hyötyfunktion parametrien suhteen on välttämättä oltava nolla. Maksimointi tapahtuu iteratiivisesti esimerkiksi Newtonin - Raphsonin menetelmällä.

Suurimman uskottavuuden estimaatit ovat

- * tarkentuvia
- * asymptoottisesti normaalijakautuneita ja
- * asymptoottisesti tehokkaita (estimaattien varianssi pienin mahdollinen).

Jos etukäteen on tiedossa, että tietyn kulkutavan valinneita on hyvin vähän, voidaan tarkoituksella poimia otos, jossa tämä kulkutapa on ylliedustettuna. Kyseessä ei tällöin ole satunnaisotanta vaan ositetun otannan erikoistapaus, ns. valintaperusteinen otanta. McFadden on osoittanut, että jos logittimallisissa on täysi määrä (J-1) vaihtoehtokohtaisia vakioita, ovat parametrien estimaattorit vakioita lukuun ottamatta tarkentuvia. Näin ollen mallit voidaan estimoida normaalisti, kunhan vakiot korjataan lopuksi.

Uudet vakiot määritetään laskemalla kullekin kulkutavalle logaritmoitu suhdeluku estimoinnista saataville ja tunnetuille kulkutapaosuuksille. Saatu suhdeluku vähennetään valintaperusteisesta otoksesta estimoidun vakion arvosta. Vähennys tehdään myös sille kulkutavalle, jonka vaihtoehtokohtaisen vakion arvo on nolla. Lopuksi vakiot korjataan siten, että viimeksi mainitun kulkutavan vakio palautuu nolaksi.

3.3 Siirtotavat

Tutkimusaineiston laadun ja määrän mukaan logittimallien siirtäminen voidaan tehdä

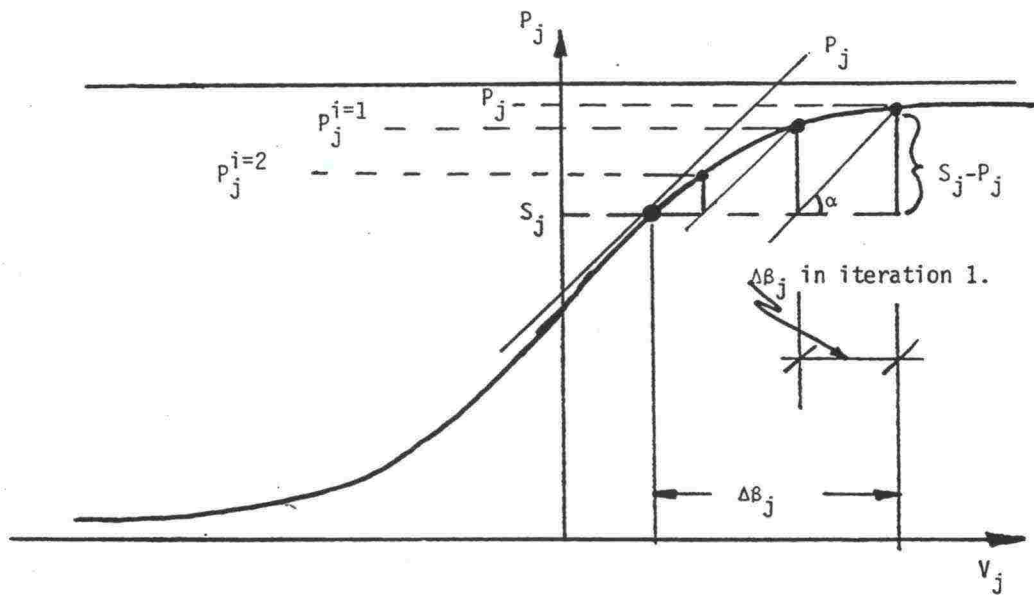
- * **suoraan siirtämällä**, jolloin alkuperäinen malli siirretään sellaisenaan ilman kalibrointia
- * **kokonaisuutena siirtämällä**, jolloin vaihtoehtokohtaiset vakiot määritetään uudelleen
- * **paloittain siirtämällä**, jolloin vaihtoehtokohtaiset vakiot määritetään uudelleen, minkä lisäksi liikennejärjestelmämuuttujille (matka-aika-, kustannus- sekä etäisyysmuuttujat), sosioekonomisille muuttujille, alue-
muuttujille ja matkatuotosmuuttujille määritetään kullekin oma koko muuttujaryhmää koskeva tasokorjauskerroin

- * **yksityiskohtaisesti siirtämällä**, jolloin kaikille vakioille ja muuttujille etsitään korjauskerroin (alkuperäisen mallirakenteen uudelleen estimointi)
- * **estimoimalla kokonaan uusi malli**, jolloin malliin kokeillaan myös uusia muuttujia ja mallirakenteita.

Neljä ensimmäistä tapaa testaavat malliparametrien siirrettävyyttä. Viimeinen tapa ottaa kantaa myös mallirakenteen hyvyyteen.

Kuvassa 2 on havainnollistettu vaihtoehtokohtaisten vakioiden uudelleen estimointia iteratiivisella menettelyllä. Siirretyn mallin valintatodennäköisyyksiä on merkitty P_j :llä ja havaittuja valintatodennäköisyyksiä S_j :llä. Tavoitteena on määrätä vakio β_j siten, että $P_j = S_j$. Koska logittikäyrä on epälineaarinen, tämä tapahtuu iteratiivisesti.

Logittikäyrän kulmakerroin ($\tan\alpha$) on pisteessä $S_j = S_j(1-S_j)$. Vakion β_j etäisyys ensimmäisen iteraatiokierroksen jälkeen on $\beta_j - (P_j^i - S_j) / \tan\alpha$. Kulkutavan j osuus on ensimmäisen iteraatiokierroksen jälkeen $P_j^{i=1}$. Prosessia jatketaan, kunnes $P_j^i = S_j$ [Talvitie 1981].



Kuva 2: Kaaviokuva vaihtoehtokohtaisten vakioiden uudelleenestimoinnista [Talvitie 1981].

Siirrettäessä malleja kokonaisuutena, kaikkien kertoimien arvot kiinnitetään lähtöalueen malliparametrien mukaisiksi ja vain mallin vaihtoehtokohtaiset vakiot estimoidaan uudelleen. Siirretyn mallin hyötyfunktio on tällöin muotoa:

$$V(X) = \gamma_1 * B_1 + B_2 * X_{I1} + B_3 * X_{I2} + B_4 * X_{m1} + B_5 * X_{m2} ,$$

missä B_1 = vakio

B_2 – B_5 = parametreja

X_{I1}, X_{I2} = liikennejärjestelmämuuttujia

X_{m1}, X_{m2} = muita muuttujia (8)

γ_1 = vaihtoehtokohtaisen vakion tasokorjauskerroin.

Paloittain siirrettäessä kertoimet korjataan muuttujaryhmittäin eli muodostetaan yhteenkuuluvista (tai -sopivista) muuttujista kertoimineen uusi keinotekoinen muuttuja, jolle määritetään oma tasokorjauskerroin. Tällainen keinotekoinen muuttuja voi olla esimerkiksi:

liikennejärjestelmämuuttuja = $\beta_{\text{kustannus}}$ *kustannukset + β_{aika} *ajoaika.

Kustannusten ja ajoajan tasokorjaus tehdään liikennejärjestelmämuuttujalle. Kohdepaikkakunnan hyötyfunktio on tällöin muotoa:

$$V(X) = \gamma_1 * B_1 + \gamma_2 * (B_2 * X_{I1} + B_3 * X_{I2}) + \gamma_3 * (B_4 * X_{m1} + B_5 * X_{m2}). \quad (9)$$

Mallissa on vaihtoehtokohtaiselle vakiolle sekä liikennejärjestelmää kuvaaville muuttujille ja muille muuttujille kullekin oma tasokorjauskerroin ($\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$). Jos käytävissä on sekä SP- että RP-aineisto, yksi mahdollisuus tasokorjauskertoimen määrittämiseksi on estimoida matka-aika- ja kustannusvaikutuksille SP-malleilla alustavat kertoimet. Saadut kertoimet sijoitetaan alkuperäiseen malliin, joka estimoidaan tämän jälkeen uudelleen. Uusi malli tasokorjataan RP-aineiston perusteella.

Mallien yksityiskohtainen siirtäminen edellyttää, että vaihtoehtokohtaiset vakiot estimoidaan uudelleen ja kaikille muuttujille estimoidaan oma korjauskerroin. Käytännössä tämä tarkoittaa, että malli estimoidaan uudelleen käyttäen lähtöalueen malleissa esiintyviä muuttujia.

3.4 Siirrettävyyden testaaminen [Ortúzar ja Willumsen 1990]

Yleisesti mallin hyvyys riippuu siitä, kuinka hyvin vaihtoehdot kyetään kuvaamaan eli saadaanko mukaan valinnan kannalta olennaiset muuttujat. Mallin muuttujien tulee olla yksinkertaisia, helposti ymmärrettäviä ja ennustettavia. Lisäksi malleilla on voitava tutkia tärkeimpiä ongelmia. Samat vaatimukset koskevat periaatteessa myös mallien siirrettävyyttä. Malleja siirrettäessä olisi lisäksi toivottavaa, että eri vaihtoehtojen parametrit olisivat samanlaisia ja että samat liikennejärjestelmämuuttujat olisivat mukana kaikissa osavaiheissa.

Mallien hyvyyttä kuvataan yleisesti $\rho^2(c)$ -arvolla, jolla mallin hyvyyttä verrataan sellaiseen malliin, jossa selittäjinä ovat vain vaihtoehtokohtaiset vakiot:

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(c)}, \quad (10)$$

missä $L(\hat{\beta})$ on log-likelihoodfunktion arvo maksimissa, kun parametrit on estimoitu

$L(c)$ on log-likelihoodfunktion arvo, kun selittäjinä ovat vain vaihtoehtokohtaiset vakiot.

$\rho^2(c)$ -arvon tulisi olla ainakin 0,15 - 0,20. Varsin hyvä arvo on 0,25 ja erinomainen 0,40. Arvoa täytyy tulkita varovaisesti, koska siihen vaikuttavat sekä vaihtoehtojen että havaintojen lukumäärät. ρ^2 -arvo riippuu myös vaihtoehtojen suhteellisten osuuksien jakaumasta eli mitä vinompi jakauma on, sitä suurempia arvoja ρ^2 saa [Talvitie 1983]. Usein esitetyllä $\rho^2(0)$ -arvolla mallin hyvyyttä verrataan sellaiseen malliin, jossa kaikkien vaihtoehtojen valintatodennäköisyys on yhtä suuri.

Siirretyn ja alkuperäisen mallin poikkeavuutta voidaan arvioida testaamalla korjauskertoimia tilastollisesti. Yleisimmin käytetään **t-testiä**. Testillä selvitetään poikkeako korjauskerroin γ_i merkittävästi arvoista $\gamma_0=0$ tai $\gamma_0=1$. Jos tasokorjauskerroin poikkeaa ykkösestä, se on tarpeellinen. Mitä lähempänä ykköstä tasokorjauskerroin on, sitä paremmin alkuperäinen malli sopii uuteen tilanteeseen. Jos korjauskerroin ei poikkeaa merkitsevästi nolasta, alkuperäisen mallin muuttujat eivät selitä matkustuskäyttäytymistä kohdepaikkakunnalla. Testisuure lasketaan seuraavasti:

$$t_{N-2} = \frac{\hat{\gamma}_i - \gamma_0}{SE(\hat{\gamma}_i)}, \quad (11)$$

missä $\hat{\gamma}_i = \gamma_i$:n estimaatti.

Eri malleissa (esim. alueiden i ja j mallit) olevia saman muuttujan kertoimia tai vaihtoehtokohtaisia vakioita verrataan myös t-testillä. Testisuure on:

$$t = \frac{\beta_i - \beta_j}{\sqrt{(\text{var}(\beta_i)) + (\text{var}(\beta_j))}}. \quad (12)$$

On huomattava, että jos varianssit ovat suuret ja t-arvot sen vuoksi pieniä, testi ei aina kykene löytämään eroa kertoimien välillä, vaikka sellainen todellisuudessa olisikin.

Suurimman uskottavuuden testeillä testataan siirrettyjen mallien kykyä selittää yksilön valintoja kohdepaikkakunnalla. Merkitään kohdepaikkakunnan j likelihood-arvoja:

$$L_j(0) < L_j(c) < L_j(\beta_i) < L_j(\beta_j) < L(*) \approx 0, \quad (13)$$

missä

- $L_j(0)$ = log-likelihood-funktion arvo, kun parametrivektori on nolla
 $L_j(c)$ = log-likelihood-funktion arvo mallissa, jossa selittäjinä ovat vain vaihtoehtokohtaiset vakiot
 $L_j(\beta_i)$ = log-likelihood-funktion arvo siirretylle mallille
 $L_j(\beta_j)$ = log-likelihood-funktion arvo "parhaalle" paikallisesti estimoidulle mallille
 $L(*)$ = "täydellisen mallin" log-likelihood-funktion arvo (on lähellä nollaa).

Suoraan siirretyn tai tasokorjatun ja kohdepaikkakunnalla uudelleen estimoidun "parhaan mahdollisen" mallin eroa voidaan testata ns. **siirrettävyydestillä** [Atherton ja Ben-Akiva 1976]. Nollahypoteesi on, että suoraan siirretyn mallin ja vertailumallin kertoimet eivät poikkea toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Jos siirrettävyydestin testisuureen TTS:n arvo on suurempi kuin kriittinen χ -arvo vapausasteilla m (= siirretyn ja parhaan mahdollisen mallin muuttujien lukumäärän erotus) ja merkitsevyystasolla α , nollahypoteesi hylätään.

$$TTS = -2[L_j(\beta_i) - L_j(\beta_j)] \quad (14)$$

Testisuure TTS on likimain χ^2 -jakautunut vapausasteella m (selittävien muuttujien lukumäärä). Koska χ^2 -jakauma ei ole symmetrinen [Koppelman ja Wilmot 1982], tulokseen vaikuttaa kumpaan suuntaan malleja siirretään.

Siirrettävyyssindeksillä (TI) kuvataan, miten paljon suoraan siirretyn tai tasokorjatun ja toisaalta parhaan mahdollisen mallin log-likelihood-funktion arvo paranee suhteessa vertailumalliin, jossa selittäjinä ovat vain vaihtoehtokohtaiset vakiot.

$$TI = \frac{L_j(\beta_i) - L_j(c_j)}{L_j(\beta_j) - L_j(c_j)} \quad (15)$$

Suhdeluku voi olla korkeintaan yksi. Mitä lähempänä ykköstä suhde on, sitä paremmin mallin siirto on onnistunut. Jos suhdeluku on negatiivinen, suoraan siirretty malli on huonompi kuin pelkät vakiot sisältävä malli.

Mallien siirrettävyyttä voidaan tutkia vertaamalla poikkeavatko kahdessa eri paikassa tehtyjen mallien kertoimet joukkona yhteisestä aineistosta tehdyn mallin kertoimista. Testisuure on χ^2 -jakautunut vapausasteilla m (= selittävien muuttujien lukumäärä vakiot mukaanluettuna):

$$-2[L_{ij}(\beta_{ij}) - (L_i(\beta_i) + L_j(\beta_j))]. \quad (16)$$

missä

- $L_i(\beta_i)$ = alueen i aineistolla estimoidun mallin log-likelihood-funktion arvo
 $L_j(\beta_j)$ = alueen j aineistolla estimoidun mallin log-likelihood-funktion arvo
 $L_{ij}(\beta_{ij})$ = yhdistetyllä aineistolla estimoidun mallin log-likelihood-funktion arvo.

Mallin hyvyttä voidaan arvioida myös testaamalla kuinka hyvin siirretty malli pystyy ennustamaan yksilön tekemiä valintoja. Koska mallin sovittamisessa pakotetaan vaihtoehtokohtaiset vakiot sellaisiksi, että ne kuvaavat kohdealueen oletettua lähtötilannetta, ei koko perusjoukkoa kannata testata, vaan testissä täytyy tarkastella oikein ennustettujen valintojen osuutta eri sosioekonomisissa ryhmissä tai etäisyysluokissa. Lähtökohtana on, että hyvä malli ennustaa hyvin myös osajoukkojen valintoja.

Tulokset esitetään niin kutsutussa **validiteettitaulukossa**, jossa havainnot järjestetään sen mukaan, miten paljon mallilla ennustettu valintatodennäköisyys poikkeaa malliaineistossa havaitusta vastaavasta valintaosuudesta. Poikkeaman mittarina on malliaineistossa havaitun osuuden hajonta, joka arvioidaan otantatietojen perusteella. Ryhmässä A esitetään ne havainnot, joilla ennustetun ja havaitun arvon ero on korkeintaan yksi hajonnanmitta. Hyvässä mallissa näiden havaintojen osuus on vähintään 70 %. Ryhmässä B ennustetun ja havaitun arvon ero on yhdestä kahteen hajonnanmittaa ja ryhmässä C yli kaksi hajonnanmittaa. Hyvässä mallissa ryhmän B havaintojen osuus on noin 25 % ja ryhmän C havaintojen osuus korkeintaan 5 % [Gunn ja Pol 1986].

Yksi tapa arvioida mallin hyvyttä on tarkastella **otosenumeraatiolla** mallin kykyä kuvata jonkin toimenpiteen aiheuttamaa muutosta jakaumassa. Otosenumeraatiolla tarkoitetaan estimoidun mallin soveltamista otokseen muuttamalla tiettyjä lähtöarvoja. Koska toimenpiteen todellista vaikutusta ei tiedetä, oletetaan että alkuperäiseen aineistoon parhaiten soveltuva malli antaa vertailutuloksen. Yleensä testataan joko matka-ajan tai matkakustannuksen aiheuttamaa muutosta jakaumassa.

Tulosten järkevyyttä voidaan arvioida myös tarkastelemalla ajan arvoa. **Ajan arvo** (VOT) lasketaan kulkutapamallin parametrien estimaateista seuraavasti: Oletetaan, että kulkutavan m hyötyfunktio on:

$$V_m = \beta_{ajoaika} * ajoaika + \beta_{ajokust} * ajokust. \quad (17)$$

Tarkastellaan henkilöä, joka on valmis tekemään matkan, jonka hinta vastaa 60 minuutin hyötyä ajoajassa. Tällöin:

$$\begin{aligned} \beta_{ajokust} * VOT &= \beta_{ajoaika} * 60 \\ VOT &= \beta_{ajoaika} * 60 / \beta_{ajokust} \end{aligned} \quad (18)$$

Tulojen lisääntymisen tai vähenemisen vaikutus ajan arvoon ei ole suhteellinen, joten kertomalla vanhoja ajan arvoja tulojen muutoksella ei saada oikeita korjattuja ajan arvoja [Gunn 1991].

Tutkimustulokset ajan arvosta eivät ole yksiselitteisiä. Ajan arvoa on tutkittu mm. Englannissa [MVA Consultancy et al. 1987] ja Hollannissa [Gunn 1991, Hague Consulting Group 1990] 80-luvun loppupuolella tehdyissä ajanarvotutkimuksissa. Suomessa aihetta on käsitelty mm. Saara Pekkarisen vuonna 1992 tekemässä tutkimuksessa [Pekkarinen 1992a ja b] ja liikenneministeriön vuonna 1990 julkaisemassa tutkimuksessa [liikenneministeriö 1990]. Teknillisessä korkeakoulussa vuosina 1993 ja 1994 tehdyissä tutkimuksissa on käsitelty ajan arvoa lyhyt- ja pitkämatkaisessa liikenteessä [liikenneministeriö 1993 ja 1994].

3.5 Liikenne-ennustemallien alueellisesta siirrettävyydestä saatuja kokemuksia

Malliparametrien ja -rakenteen siirrettävyys

Liikenne-ennustemallien siirtämisestä saadut tulokset vaihtelevat. Useimmissa tutkimuksissa todetaan, että liikenne-ennustemallien siirtäminen on mahdollista, jos alkuperäiset mallit ovat hyviä. Tällä tarkoitetaan, että malliparametrit ovat vakaita sekä ajan että paikan suhteen ja että mallirakenteet eri matkaryhmissä ovat yhdenmukaisia.

Riippumatta siitä siirretäänkö malleja vai estimoidaanko kokonaan uusia malleja, liikennemallien siirrettävyyden tutkiminen edellyttää, että alueella, jonne malleja siirretään, on tehty vastaavat matkatottumustutkimukset kuin lähtöalueella. Ero on aineiston määrässä ja siinä kuinka tarkkaa sen täytyy olla. Liikennemallin täydellinen uudelleenestimointi vaatii 2 - 4 kertaa enemmän havaintoja kuin vaativastikin toteutettu mallin siirtäminen [Pursula ja Widlert 1990].

Algersin, Collianderin ja Widlertin [1987] mukaan mallien suurimmat puutteet aiheutuvat huonosta lähtöaineistosta. Jos alkuperäiset mallit ovat huonoja, eivät siirretyt mallitkaan voi olla hyviä.

Talvitien ja Kirshnerin [1978] mukaan mallimäärittelyt vaikuttavat huomattavasti kertoimien arvoihin ja mallin selitysasteeseen, minkä vuoksi mm. joukkoliikenteen matkojen kävely- ja odotusaikoja tulisi käsitellä malleissa erikseen.

Tardiff [1979] on osoittanut, että malleista poisjätetyt muuttujat saattavat vaikuttaa vaihtoehtokohtaisten vakioden arvoihin ja kasvattaa niiden varianssia. Tutkimuksessa todettiin, että verrattaessa kahta samalla tavoin määritettyä mallia keskenään eri tilanteissa, satunnaistermien keskiarvon ero on yleensä suhteellisen suuri, varianssien ero on pienempi ja parametriarvojen pienin. Tämän vuoksi nimenomaan vaihtoehtokohtaisten vakioden uudelleenestimointi on perusteltua malleja siirrettäessä.

Tulokset ennustevirheen suuruudesta ovat ristiriitaisia. Atherton ja Ben-Akiva [1976] totesivat siirtäessään malleja Washington D.C:stä New Bedfordiin, että virhe oli pieni. Toisaalta Trainin [1978] tutkimuksessa mallien ajallinen siirrettävyys San Franciscon seudulla ei antanut hyviä tuloksia. Eräät tutkimukset ovat osoittaneet, että ennusteita voidaan parantaa lisäämällä malleihin sosioekonomisia ja demografisia muuttujia - tästä esimerkkinä ovat mm. Parodyn [1977] ja Trainin [1978] tekemät kulkutavan valintaa koskevat tutkimukset.

Mallien tasokorjaaminen ja uudelleenestimointi

Tutkimusten mukaan vähimmäisvaatimuksena logittimalleja siirrettäessä on vaihtoehtokohtaisten vakioden uudelleen määrittäminen. Myös sosioekonomiset tekijät joudutaan tavallisesti tasokorjaamaan. Sen sijaan liikennejärjestelmää kuvaavat muuttujat kuten matka-aika ja matkakustannukset kelpaavat usein sellaisenaan.

Tretvikin vuonna 1989 tekemä tutkimus kulkutapamallien siirtämisestä norjalaisissa kaupungeissa osoitti, että malleja siirrettäessä vaihtoehtokohtaiset vakiot pitää yleensä estimoida uudelleen. Liikennejärjestelmämuuttajat olivat paremmin siirrettävissä kuin muut kulkutapamuuttajat. Ennustettaessa liikennejärjestelmässä tapahtuvien muutosten vaikutusta pelkkä vaihtoehtokohtaisten vakioiden uudelleenestimointi antoi parempia tuloksia kuin jos käytettiin myös tasokorjauskertoimia [Algers et al. 1994]. Algers, Colliander ja Widlert [1987] ovat saaneet samansuuntaisia tuloksia tutkiessaan kulkutavan ja määräpaikan valintamallien siirtämistä ruotsalaisilla paikkakunnilla.

Koppelman, Kuah ja Wilmot [1985] ovat testanneet kulkutapamallien siirrettävyyttä työmatkoilla Washington D.C:n, Minneapolis-St.Paulin ja Baltimoren välillä. Myös tässä tutkimuksessa todettiin, että vaihtoehtokohtaisten vakioiden uudelleenestimointi oli välttämätöntä. Mallit paranivat, kun lisäksi käytettiin tasokorjauskertoimia.

Gunn ja Pol [1986] ovat raportoineet tutkimuksesta, jossa vuosina 1977 ja 1981 Rotterdamin ja Haagin seuduilla tehty mallijärjestelmä siirrettiin Utrechtin. Tulosten mukaan mallien siirtäminen on mahdollista edellyttäen, että mallin vakiot estimoidaan uudelleen ja muille muuttujille tehdään tasokorjaus. Erillisten tasokorjauskertoimien muodostaminen liikennejärjestelmämuuttujille ja muille muuttujille ei kuitenkaan parantanut tuloksia merkittävästi.

Taulukossa 1 on esitetty yhteenveto Ruotsissa ja Norjassa 80- ja 90-luvun vaihteessa tehdyistä kokonaisista mallijärjestelmiä koskevista siirtämiskokeiluista.

Taulukko 1: Helsingborgiin, Osloon ja Trondheimiin siirrettyjen mallien tasokorjaustarve ja selitysasteet.

Tutkimus	Havaintojen lkm.	Liikennejärj. muuttujien tasokorj.	Muiden kulkutapamuuttujien tasokorj.	Määräp. valinta- muuttujien tasokorj.	Matkatuotos- muuttujien tasokorj.	p ² -arvo ve-koht. vakiot uud. est.	p ² -arvo tasokorjattu malli
Helsingborg							
- työ	1809	●	○	●	X	-	0.4609
- ostos	1809	○	●	-	●	-	0.7866
- asiointi	4221	○	X	○	○	-	0.9313
- virkistys	3646	●	●	X	●	-	0.8204
- vierailu	4159	○	○	○	●	-	0.8944
- muut	4233	●	X	○	●	-	0.9251
Oslo							
- työ	8518	●	●	●	●	0.3732	0.3978
- ostos	12400	○	○	-	●	-	0.9063
Trondheim							
- työ	1905	-	-	-	-	0.4007	-

○ Tasokorjaus ei poikkea merkitsevästi ykkösestä eli tasokorjausta ei tarvita

● Tasokorjaus poikkeaa merkitsevästi nolasta ja ykkösestä

X Tasokorjaus ei poikkea merkitsevästi nolasta (muuttuja ei selitä valintaa kohdepaikkakunnalla)

- Ei ole testattu

Helsingborgin tutkimus tehtiin vuonna 1989, ja siinä tutkittiin työ-, ostos-, asiointi-, virkistys- ja vierailumatkamallien siirtämistä. Siirretyt mallit olivat Göteborgista, Jönköpingistä ja hollantilaisesta Zuidvleugel-tutkimuksesta. Kalibrointiin käytettiin Helsingborgissa vuonna 1979 tehdyn matkatottumustutkimuksen aineistoa [Widlert 1990].

Tulosten mukaan liikennejärjestelmää kuvaavien muuttujien siirto onnistui useimmissa matkaryhmissä hyvin. Sosioekonomisten muuttujien suora siirrettävyys ilman tasokorjausta ei kuitenkaan ollut mahdollista [Widlert 1990].

Norjassa kokeiltiin vuonna 1990 Helsingborgissa tehtyjen työ- ja ostosmatkamallien siirtämistä Oslon - Akerhusin seudulle. Suurin parannus suoraan siirrettyyn malliin verrattuna saatiin työmatkoilla, kun vaihtoehtokohtaiset vakiot estimoitiin uudelleen. Ostosmatkoilla suurin parannus saatiin, kun mallirakenne kulkutapa- ja suuntautumismallien osalta käännettiin ja mallit tasokorjattiin. Tutkimuksen mukaan mallien tasokorjaaminen saattaa huonontaa siirrettyjen mallien kykyä ennustaa muutoksia, jos tasokorjauskertoimella korjattavien muuttujien keskinäiset suhteet poikkeavat huomattavasti lähtö- ja kohdealueilla [Algers et al. 1994].

Tukholmassa vuonna 1992 tehdyn mallijärjestelmän kotiperäisten työmatkamallien siirtämistä kokeiltiin samana vuonna soveltuvin osin Trondheimiin. Vaikka matkustuskäyttäytyminen poikkesi paikkakunnilla toisistaan, myös näiden mallien siirtäminen onnistui hyvin. T-testien mukaan useimpien vaihtoehtokohtaisten vakioiden uudelleenestimointi oli tarpeetonta. Tässä tutkimuksessa ei tarkasteltu mallien tasokorjausta [Algers et al. 1994].

4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA AINEISTOJEN KUVAUS

4.1 Tavoitteet ja sisältö

Työn tavoitteena on tutkia pääkaupunkiseudulla LITU 88:n yhteydessä tehtyjen sisäisen liikenteen kulkutapamallien siirrettävyyttä Ouluun. Tarkastelu perustuu Oulun seudulla vuonna 1989 ja pääkaupunkiseudulla vuosina 1987 - 90 tehtyihin liikennetutkimuksiin, joiden perusteella alueille on laadittu mallijärjestelmät.

Pääkaupunkiseudun mallijärjestelmä on perinteinen neliporrasmallin sovellus. Järjestelmässä on takaisinkytkentä liikenteen sijoittelusta matkojen suuntautumiseen ja kulkutapajakaumaan. Kulkutapamallit on tehty neljälle matkaryhmälle, joista tässä tarkastellaan kotiperäisiä työmatkoja ja muita kotiperäisiä matkoja. Ei-kotiperäisten matkojen siirtämistä ei tarkastella, koska pääkaupunkiseudun malliaineistoon eivät ei-kotiperäisillä matkoilla kuuluneet kevytliikenteen matkat, joten tarkastelu rajoittuisi kahteen kulkutapaan, joissa niistäkin toisessa olisi vain muutama havainto. Kotiperäisten koulumatkojen kulkutapamallit on pääkaupunkiseudulla tehty etäisyystaulukkona, joten myöskään niiden siirtämistä ei tässä tarkastella.

Työmatkamallien siirtämistä kokeillaan LITU 88:n yhteydessä tehdyllä perusmallilla [YTV, liikenneministeriö 1991 b] sekä varsinaisen mallityön jälkeen suuntautumismallien jatkekehittelyssä tehdyllä suppealla mallilla [Granholm 1994]. Muilla kotiperäisillä matkoilla tarkastellaan LITU 88:n yhteydessä tehtyjä perusmalleja. Tarkasteltavat kulkutavat ovat henkilöauto, bussi ja kevytliikenne.

Tutkimuksen tavoitteet voidaan jakaa kahteen osaan. Toisaalta tavoitteena on saada yleiskäsitys pääkaupunkiseudun kulkutapamallien soveltuvuudesta muualle. Toisaalta pyrkimyksenä on käsitellä yleisesti mallien siirtämiseen liittyviä ongelmia ja vaatimuksia. Tutkimuksessa selvitetään mm. mallirakenteen ja muuttujien valinnan sekä lähtötietojen määrän ja laadun vaikutusta kulkutapamallien siirrettävyyteen.

Siirrettävyyttä testataan tilastollisin testein sekä vertaamalla mallien kykyä ennustaa muutosten vaikutuksia. Muuttujien valinnan vaikutusta tutkitaan estimoimalla Ouluun kokonaan uudet mallit, joita verrataan siirrettyihin malleihin. Lähtöaineiston määrän vaikutuksia tutkitaan vertaamalla koko aineistosta estimoituihin malleihin otantamalleja, joissa henkilöauton ja kevytliikenteen valinneiden ihmisten määrää on vähennetty (nk. valintapohjainen painotus).

4.2 Oulun seudun liikennetutkimus [Oulun tiepiiri et al. 1991 a]

4.21 Matkatottumukset

Mallien siirto perustui Oulussa vuonna 1989 tehtyyn liikennetutkimukseen, jonka perusteella pääkaupunkiseudun mallit sovitettiin Oulun olosuhteisiin. Oulun seudun liikennetutkimus oli laaja, kuusi kenttätutkimusta sisältävä tutkimussarja, johon sisältyivät nopeustutkimus, autoliikenteen laskennat, kevytliikenteen tutkimus, tienvarsipostikysely, tienvarsihaastattelu ja henkilöhaastattelu.

Näistä merkittävin erillistutkimus oli henkilöhaastattelu, joka tehtiin postikyselynä syksyllä 1989. Tutkimuksen piiriin kuuluivat Oulun kaupunki ja 11 ympäristökuntaa.

Henkilöhaastattelu koostui kahdesta osasta: matkapäiväkirjasta ja lisälomakkeesta, joka lähetettiin vain 18 vuotta täyttäneille henkilöille. Matkapäiväkirjalla selvitettiin yhden päivän aikana tehtyjen matkojen määrää ja niiden tekemiseen liittyviä asioita. Lisälomakkeessa kysyttiin vastaajan sosioekonomiseen asemaan liittyviä taustatietoja ja liikkumiseen liittyviä mielipiteitä ja kannanottoja. Tutkimuksen vastausprosentti oli 67,2 % eli 2 637 matkapäiväkirjaa, joista 13 % hylättiin. Hyväksytyjen matkapäiväkirjojen osuus oli 58 %. Hyväksyttyjä lisälomakkeita oli 1 944 kappaletta.

Taulukossa 2 on esitetty Oulun henkilöhaastatteluaineiston jakautuminen pääkaupunkiseudun mallityössä käytetyn määrittelyn mukaisiin matkaryhmiin. Arvot poikkeavat Oulun seudun malleja käsittelevässä raportissa esitetyistä mm. siten, että Oulussa yli 18-vuotiaiden tekemiä opiskelumatkoja tarkasteltiin yhdessä työmatkojen kanssa, kun taas pääkaupunkiseudulla niitä tarkasteltiin muiden kotiperäisten matkojen yhteydessä. Taulukon lukuihin eivät sisälly Oulun kaupungin rajan ylittävät matkat. Aineistosta on myös poistettu matkat, joiden lähtö- tai määräpaikka oli epäselvä tai kulkutapa oli tuntematon.

Taulukko 2: Oulun henkilöhaastatteluaineiston jakautuminen pääkaupunkiseudun mallityössä käytetyn määrittelyn mukaisiin matkaryhmiin.

Matkaryhmä	Oulun sisäiset matkat	
	kpl	%
Kotiperäiset työmatkat	818	24,2
Muut kotiperäiset matkat	1 464	43,4
Ei-kotiperäiset matkat	1 095	32,4
Yhteensä	3 377	100,0

Oulun kaupungin sisäisten matkojen kulkutapaosuudet matkaryhmittäin on esitetty taulukossa 3. Tutkimuksen mukaan vuonna 1989 44,3 % matkoista tehtiin jalan tai pyörällä, 50,5 % henkilöautolla ja vain 5,2 % bussilla. Kulkutavoittaiset matkaluvut olivat kevytliikenteelle 1,79, henkilöautolle 1,94 ja bussille 0,28 matkaa/hlö/vrk.

Taulukko 3: Eri kulkutapojen osuus Oulun malliaineistossa matkaryhmittäin (%).

Kulkutapa	Matkaryhmät Oulussa		
	Kotip. työmatkat	Muut kotip. matkat	Ei-kotip. matkat
Jalankulku	7,0	18,3	24,1
Polkupyörä	37,0	28,2	17,4
Bussi	6,6	6,0	3,0
Henkilöauto	49,4	47,5	55,5
Yhteensä	100,0	100,0	100,0

Ajokortti-ikäisistä miehistä 80,6 % ja naisista 36,9 % ilmoitti, että heillä oli auto aina käytettävissään. Naisista 25,7 %:lla ja miehistä 5,9 %:lla oli joskus mahdollisuus auton käyttöön, muilla ei ollenkaan.

Yleisin syy henkilöauton käyttöön oli kuljettajien mukaan sen nopeus muihin kulkutapoihin verrattuna. Toiseksi yleisin syy oli, että autoa tarvitaan myös muihin matkoihin. Kolmantena syynä olivat puutteelliset joukkoliikenneyhteydet.

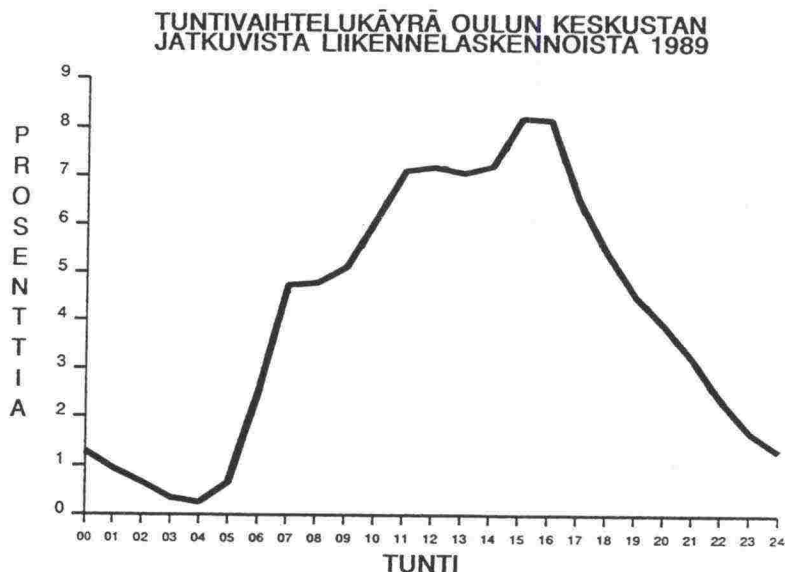
4.22 Liikenneverkon kuvaukset [Oulun tiepiiri et al. 1991 b]

Oulun nykytilan ennusteen matka-ajat saatiin liikenneverkkojen malleista. Autoliikenneverkko muodostettiin liikennetutkimuksessa käytetyn pienosa-aluejaon pohjalta, joka on esitetty liitteessä 1. Osa-alueet jakautuivat siten, että Oulun kaupungissa oli 122, seudun muiden kuntien alueella 63 ja seudun ulkopuolella 5 osa-aluetta eli yhteensä 190 aluetta.

Verkon kuvaus käsitti linkeittäin seuraavat tiedot

- * kulkutapa (auto/bussi/kevytliikenne)
- * linkkityyppi (tien/kadun toiminnallinen/hallinnollinen luokka)
- * linkin pituus, km
- * ajokaistojen määrä
- * linkin viivytysfunktio
- * tieosakohtainen nopeus
- * liikennelaskennoissa havaittu liikennemäärä, KVL.

Ajoneuvoliikenteen laskennoista saatuja tuloksia hyödynnettiin matkatuotosten määrittämisessä ja liikenneverkkojen kalibroinnissa. Kuvassa 4 on esitetty Oulun keskustan liikenteen tuntivaihtelu vuonna 1989. Aamuruuhka ei pienen liikennemääränsä vuoksi erotu kuvasta. Iltaruuhka ajoittui klo. 16:n tienoille ja oli noin 8 % KVL:stä.



Kuva 3: Autoliikenteen tuntivaihtelu Oulun keskustan sisäkehällä vuonna 1989 [Oulun tiepiiri et al. 1990].

Oulun nykytilan ennusteet tehtiin automatkoina kolmelle matkaryhmälle ilman kulkutapoihin jakamista, joten liikenne-ennusteen teossa riitti autoliikenteen verkon kuvaaminen. Erillisiä kulkutavan valinnan logittimalleja varten kuitenkin muodostettiin myös kevyt- ja joukkoliikenteen verkot, joiden pohjalta arvioitiin kevyt- ja joukkoliikenteen matka-ajat. Verkot laadittiin Oulun kaupungin suurosa-aluejaolla, jossa on 15 osa-aluetta (liite 2).

4.3 Pääkaupunkiseudun liikennetutkimus

4.31 Matkatottumukset

Pääkaupunkiseudun mallityön pohjana ollut henkilöhaastattelu tehtiin syksyllä 1988. Tavoitteena oli selvittää mahdollisimman monipuolisesti pääkaupunkiseudun asukkaiden liikkumistottumukset ja niihin vaikuttavat taustatekijät.

Tutkimus tehtiin pääosin puhelinhaastatteluna, ja otoksen koko oli 18 088 henkilöä, joista kyselyyn vastasi 6 197 seitsemän vuotta täyttäneitä henkilöä. Puhelinhaastattelun lisäksi tehtiin informoitu kirjekysely niille henkilöille, joiden puhelinnumeroa ei löydetty. Informoidusta kirjekyselystä saatiin vastaukset 607 henkilöltä. Virheellisten ja puutteellisten lomakkeiden hylkäämisen jälkeen lopullinen tutkimusaineisto oli 6 733 henkilöä [YTV, 1990].

Taulukossa 4 on esitetty henkilöhaastatteluaineiston jakautuminen mallityössä käytetyn määrittelyn mukaisiin matkaryhmiin. Taulukon matkoihin eivät kuulu sellaisten henkilöiden matkat, joiden ilmoittamissa matkatiedoissa oli puutteita. Sen sijaan henkilöt, jotka eivät tutkimuspäivänä ilmoituksensa mukaan tehneet yhtään matkaa (1 089 henkilöä), ovat mukana tuotosmalliaineistossa.

Taulukko 4: Pääkaupunkiseudun henkilöhaastatteluaineiston jakautuminen pääkaupunkiseudun mallityössä käytetyn määrittelyn mukaisiin matkaryhmiin (sisäiset matkat).

Matkaryhmä	Pääkaupunkiseudun sisäiset matkat	
	kpl	%
Kotiperäiset työmatkat	4 778	31,2
Kotiperäiset koulumatkat	1 812	11,8
Muut kotiperäiset matkat	6 694	43,7
Ei-kotiperäiset matkat	2 029	13,3
Yhteensä	15 313	100,0

Kaikkiaan on mallien laadinnan pohjana olevassa aineistossa 6 668 henkilön tiedot. Nämä tekivät haastatteluajankohtana 15 313 mallityössä käytettyjen määrittelyjen mukaista seudun sisäistä matkaa. Keskimääräinen matkaluku oli 2,3 matkaa/hlö/vrk. Vertailtaessa taulukon arvoja ja keskimääräistä matkalukua Oulun seudun tutkimuksessa esitettyihin lukuihin on huomattava, että pääkaupunkiseudulla ei-kotiperäisillä matkoilla ei tarkasteltu kevytliikennematkoja.

Kulkutapojen osuudet matkaryhmittäin on esitetty taulukossa 5. Pääkaupunkiseudun työmatkoista 43 % tehtiin joukkoliikenteellä ja 44 % henkilöautolla. Koulumatkoilla yleisintä oli kävely tai polkupyörän käyttö (55 %). Joukkoliikenteen käyttö oli vähäisintä ei-kotiperäisillä matkoilla.

Keskimääräiset matkaluvut kulkutavoittain olivat kevytliikenteelle 0,85, henkilöautolle 1,22, bussille 0,72 ja raideliikenteelle 0,22 matkaa/hlö/vrk.

Taulukko 5: Eri kulkutapojen osuus pääkaupunkiseudun malliaineistossa matkaryhmittäin (%).

Kulkutapa	Matkaryhmät pääkaupunkiseudulla			
	Kotip. työ- matkat	Kotip. koulu- matkat	Muut kotip. matkat	Ei-kotip. matkat
Jalankulku	8,4	46,6	19,6	-
Polkupyörä	6,2	27,2	9,2	-
Bussi	29,5	18,5	21,4	26,0
Juna/metro	15,6	2,1	8,3	8,3
Henkilöauto	40,3	5,6	41,5	65,7
Yhteensä	100,0	100,0	100,0	100,0

Seudun ajokortti-ikäisistä miehistä 70 % ja naisista 28 % (keskimäärin 47 %) ilmoitti, että heillä oli auto aina käytettävissään. Naisista 14 %:lla ja miehistä 5 %:lla oli joskus mahdollisuus auton käyttöön, muilla ei ollenkaan. Ero autonkäyttömahdollisuudessa oli miesten ja naisten välillä selvästi suurempi kuin ero ajokorteissa [YTV, liikenneministeriö 1991 a].

Tulot vaikuttivat autonomistukseen ja sitä kautta sekä matkojen määrään että kulkutapajakaumaan. Suurituloisiin talouksiin kuuluvat liikkuvat eniten ja käyttivät eniten henkilöautoa. Pienituloisten ruokakuntien jäsenet taas käyttivät joukkoliikennettä hieman enemmän kuin suurituloisimmat [YTV, liikenneministeriö 1991 a].

Tärkeimmät syyt henkilöauton käyttöön olivat kuljettajien mukaan henkilöauton nopeus ja se, että autoa tarvittiin päivän aikana muihin matkoihin tai kuljetuksiin. Merkittävänä tekijänä pidettiin myös henkilöauton mukavuutta. Joukkoliikennedyhteyksien puutteita pidettiin tärkeänä syynä henkilöauton käyttöön seudun ulko-osissa ja erityisesti Espoon ja Vantaan rajan ylittäneillä matkoilla [YTV, liikenneministeriö 1991 a].

4.32 Liikenneverkon kuvaukset [YTV, liikenneministeriö 1991 b].

Liikenneverkot tehtiin alunperin YTV:n pienaluejaossa. Malleja laadittaessa pienalueittaiset vastustiedot muutettiin tutkimusalueittaisiksi keskiarvoiksi. Tutkimusaluejako käsitti 117 sisäistä ja 57 ulkoista osa-aluetta.

Henkilöautoliikenteen matka-aika ja matkan pituus laskettiin Emme-ohjelmistolla käyttäen vuoden 1988 verkkoa ja vuoden 1984 liikennevirtamatriiseja erikseen aamuruuhkalle ja päiväliikenteelle. Matka katsottiin ruuhka-aikana tehdyksi, jos se oli alkanut klo 6.30 - 8.30 tai 15.30 - 17.30.

Linja-autoliikenteen osalta vastukset laskettiin Emme/2-ohjelmistolla YTV:n kalibroimasta vuoden 1988 verkosta ja linjastosta. Raideliikenteessä vastukset laskettiin erikseen käyttäen Emme/2-ohjelmistoa lähtöalue/asema- ja asema/määräalue-valintojen selvittämisessä ja erikseen laadittua ohjelmaa lopullisen vastuksen etsinnässä.

4.4 Pääkaupunkiseudun liikennemallien periaatteet

[YTV, liikenneministeriö 1991 b]

Pääkaupunkiseudun sisäisen liikenteen mallit perustuvat matkatottumusten osalta syksyllä 1988 tehdyn henkilöhaastattelun aineistoon. Aineiston perusteella alueelle laadittiin liikennemallit matkaryhmittäin. Käytetyt matkaryhmät olivat

- * kotiperäiset työmatkat
- * kotiperäiset koulumatkat
- * muut kotiperäiset matkat
- * ei-kotiperäiset matkat.

Matkaksi määriteltiin siirtyminen kävellen tai jollakin kulkuneuvolla paikasta toiseen. Matkaksi ei kuitenkaan luettu lyhyitä (alle 5 min) kävellen lähtöpai-kan lähiympäristössä tehtyjä matkoja, joissa palattiin lähtöpaikkaan tunnin sisällä.

Ei-kotiperäisten matkojen osalta malliaineistoon eivät kuuluneet kevytliikenteen matkat. Menettelyyn päädyttiin mallintamisen yksinkertaistamiseksi. Kävellen tai pyörällä tehtyjen matkojen osuus ei-kotiperäisistä matkoista oli noin 20 %.

Tarkasteltavat kulkutavat olivat

- * kevytliikenne (jalankulku ja pyöräily)
- * bussi (ja raitiovaunu)
- * raskas raideliikenne (juna ja metro)
- * henkilöauto.

Pääasialliseksi kulkutavaksi määriteltiin aina juna tai metro silloin, kun sitä oli käytetty jossain matkan osavaiheessa. Kotiperäisiä muita matkoja ja ei-kotiperäisiä matkoja käsiteltäessä väestö jaettiin henkilöauton käyttömahdollisuuden mukaan henkilöauton pääasiallisiin käyttäjiin (HAP-henkilöt) ja henkilöihin, joilla auto oli käytössä harvoin tai ei koskaan (EHAP-henkilöt).

Matkat jaettiin lisäksi aikaryhmiin. Mallien kalibroinnissa kullakin aikaryhmällä käytettiin omia matka-aikoja ym. vastusarvoja. Eri aikaryhmille käytettiin samoja malleja mutta eri vastusarvoja. Ennustetta laadittaessa kullekin aikaryhmälle laskettiin oma kulkutapajakaumansa ja suuntautumisensa.

Aikaryhmät olivat

- * aamu (klo 6.30 - 8.30)
- * ilta (klo 15.30 - 17.30)
- * päivä (muu aika).

Mallien laadinnassa käytettiin matka-aikoina, matkojen pituuksina, odotus aikoina ja vaihtojen määrinä liikenneverkkojen malleista laskettuja arvoja.

Lähtökohtana malleissa oli, että menomatka määräpaikkaan ja paluu sieltä tehdään samalla kulkutavalla. Siten malleissa käytetyt matka-aika- ja kustannusmuuttujat sisälsivät edestakaisen matkan yhteenlasketut arvot. Vastusmatriisit laadittiin erikseen päivä- ja aamuruuhkaliikenteelle. Iltahuipputunnin matriisi muodostettiin transponoimalla aamuhuipputunnin matriisi. Matka-ajat ja matkan kustannukset laskettiin malleja tehtäessä kertomalla kyseisen vastusmatriisin arvot kahdella. Kevytliikenteen etäisyysmuuttujan arvot olivat kuitenkin yksisuuntaista matkaa koskevia.

Osa-alueen sisäisten matkojen matka-ajat perustuvat osa-alueen sisäiseen säteeseen, jonka laskemista on kuvattu liitteessä 3. Sisäinen säde kuvaa osa-alueella tehtävän matkan keskimääräistä pituutta. Alueiden sisäinen matka-aika on saatu jakamalla sisäiset säteet vakionopeudella 6 km/h.

Jokaiseen (edestakaiseen) kotiperäiseen matkaan liittyi yksi pysäköintikustannus, jonka suuruus määräytyi matkan määrään sijainnin ja matkan tekijän ilmoittaman maksutavan mukaan. Työmatkoilla oman maksullisen paikan kuukausimaksuna käytettiin 150 mk:aa ja matkamääränä 25 edestakasta matkaa/kk. Muissa tapauksissa maksu määräytyi alueen tariffiin ja oletetun keston mukaan. Asunnon yhteydessä olevalle pysäköinnille ei kohdistettu mitään kustannusta.

Henkilöautomatkan pituutena käytettiin minimireitin mukaista arvoa, jonka perusteella on laskettu myös matkan muuttuvat kustannukset yksikköarvolla 0,46 mk/km. Henkilöautoliikenteeseen liittyvien kävelymatkojen kestoksi arvioitiin haastattelujen perusteella kantakaupungissa 1,6 min (lähtöpaikka) ja 1,8 min (määräpaikka) ja muualla seudulla 1,5 min (sekä lähtö- että määräpaikka).

4.5 Oulun tutkimusaineiston soveltuvuus pääkaupunkiseudun mallirakenteeseen ja aineiston uudelleen käsittely

Oulun tutkimusaineiston soveltuvuutta selvitettiin tarkastelemalla Oulun ja pääkaupunkiseudun matkatottumustutkimuksissa, matkatottumuksissa sekä liikenneverkkojen ja kysyntämatriisien laadinnassa olleita eroja, joiden uskottiin vaikuttavan mallien siirrettävyyteen ja sen tutkimiseen.

Matkatottumustutkimukset

Oulun henkilöhaastattelu noudatti pitkälti pääkaupunkiseudun tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä. Näin ollen ratkaisevia eroja tutkimusten välillä ei ollut. Suurimmat erot olivat haastatteluaineistojen koossa, haastattelujen kohdentumisessa ja joidenkin yksittäisten muuttujien kyselytavassa.

Oulun henkilöhaastattelu tehtiin postikyselynä, ja se koski vain yli 18-vuotiaita. Pääkaupunkiseudun puhelinkyselyssä mukana olivat kaikki 7 vuotta täyttäneet haastatellut. Pääkaupunkiseudun työmatkoista alle prosentti ja muista kotiperäisistä matkoista 37,4 % oli alle 18-vuotiaiden tekemiä matkoja. Näin ollen alle 18-vuotiaiden mahdollisesti erilaiset liikkumistottumukset vaikuttavat tässä tutkimuksessa lähinnä muiden kotiperäisten matkojen mallien siirrettävyyteen.

Tutkimusaineistojen kokoerolla (Oulussa 3 377 havaintoa ja pääkaupunkiseudulla 15 313 havaintoa) oli merkitystä sellaisten matkaryhmien osasegmenteissä, joissa joukkoliikenteen osuus jäi hyvin vähäiseksi. Esimerkiksi muilla kotiperäisillä matkoilla HAP-ryhmässä oli 10 joukkoliikennehavaintoa, mikä on liian vähän mallien estimointia ajatellen.

Yhtenä ongelmana tutkimuksessa oli, että pääkaupunkiseudulla oli kysytty ruokakunnan tuloja, kun taas Oulun seudulla oli kysytty matkan tekijän tuloja. Ruokakunnan tuloja yritettiin estimoida Ouluun haastatteluaineistosta saatavien aluekeskiarvojen sekä miesten ja naisten tuloja koskevien erillisten tilastojen perusteella. Kummassakaan tapauksessa muuttujan kerroin ei poikennut merkitsevästi nolasta, minkä vuoksi tutkimuksessa luovuttiin sellaisten mallien siirtämisestä, joissa tietoa ruokakunnan tuloista olisi tarvittu.

Matkatottumukset

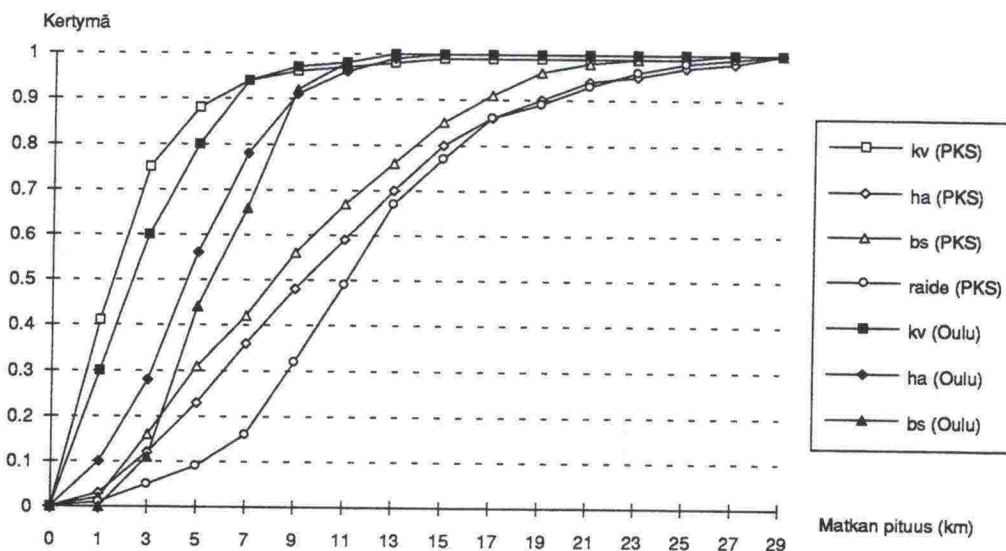
Tutkitut kulkutavat Oulussa olivat kevytliikenne, henkilöauto ja bussi. Pääkaupunkiseudun malleissa mukana ollutta raideliikennettä ei voitu tarkastella Oulussa. Raideliikennevaihtoehdon pois jättäminen on kuitenkin mahdollista, koska logittimallin teorian mukaan kahden vaihtoehdon valintatodennäköisyyksien suhde ei riipu muiden vaihtoehtojen hyödyn suuruudesta. Käytännössä liikennejärjestelmien erilaisuus saattaa huonontaa mallien siirrettävyyttä.

Tutkituista kulkutavoista joukkoliikenteen osuus oli Oulussa (5,2 %) selvästi pääkaupunkiseutua (34,5 %) pienempi. Sen sijaan kevytliikenteen ja varsinkin pyöräliikenteen osuus oli Oulussa suuri.

Oulussa 55 % ja pääkaupunkiseudulla 38,3 % haastatelluista ilmoitti, että heillä on auto käytössään lähes aina. Työsuhdeauto oli Oulussa 5,4 %:lla ja pääkaupunkiseudulla 18,3 %:lla haastatelluista kotitalouksista. Pääkaupunkiseudun mallissa esiintynyt työsuhdeauton käyttö ei siis selitä kovin hyvin henkilöauton valintaa Oulussa.

Erot kulkutapajakaumassa vaikuttavat mallien uudelleenestimointitarpeeseen. Jos kulkutapajakauma poikkeaa selvästi lähtö- ja kohdealueella, joudutaan ainakin mallien vaihtoehtokohtaiset vakiot estimoimaan uudelleen. Matkatottumuksiin vaikuttavat tekijät kuten liikenneverkon toimivuus, joukkoliikenteen palvelutaso, ruokakunnan koko ja tulotaso, asenteet yms. puolestaan vaikuttavat mallien tasokorjaustarpeeseen.

Työmatkojen pituuksia kulkutavoittain on tarkasteltu kuvassa 4. Jalan ja varsinkin pyörällä tehdyt matkat olivat Oulussa hieman pitempiä kuin pääkaupunkiseudulla. Sen sijaan autolla tai bussilla tehdyt matkat olivat Oulussa selvästi pääkaupunkiseutua lyhyempiä. Keskimääräinen matkan pituus oli Oulussa 3,8 km ja pääkaupunkiseudulla 7,1 km. Työmatkoilla keskimääräinen matkan pituus oli Oulussa 5,0 km ja pääkaupunkiseudulla 10,0 km. Matkojen pituuksia tarkasteltaessa on huomattava, että Oulun tutkimusalue oli pääkaupunkiseutua pienempi.



Kuva 4: Oulun ja pääkaupunkiseudun matkatottumustutkimuksissa tehtyjen työmatkojen pituusjakaumat kulkutavoittain.

Joukkoliikenteen maksujärjestelmät poikkesivat Oulussa ja pääkaupunkiseudulla toisistaan siten, että pääkaupunkiseudulla oli tutkimusajankohtana käytössä seutulippujärjestelmä, kun taas Oulussa hinnoittelu perustui matkan pituuteen. Näyttölippujärjestelmään siirryttiin Oulussa keväällä 1989, eikä sen käyttö ollut vielä vakiintunut henkilöhaastattelua tehtäessä. Useimilla oululaisilla ei tutkimusajankohtana ollut minkäänlaista alennuslippua, vaan he maksoivat mahdolliset joukkoliikennematkansa kertamaksulla. Malleja siirrettäessä HAP-henkilöiden oletettiin maksavan matkansa kertalipulla, kun taas EHAP-ryhmän henkilöiden oletettiin käyttävän sarjalippua, jolloin matkan hinta oli 70 % kertalipun hinnasta.

Erilainen lippujärjestelmä vaikeuttaa hinnan vaikutuksen vertailua, koska matka-ajan suhde ajokustannuksiin on Oulussa ja pääkaupunkiseudulla erilainen. Lisäksi kustannuksia vertailtaessa on huomattava, että pääkaupunkiseudulla pysäköintikustannus sisältyi työmatkoilla pysäköintimuuttuun ja muissa matkaryhmissä kustannusmuuttuun. Malleja siirrettäessä pysäköintimuuttuun ei käytetty, vaan pysäköintikustannus lisättiin kaikissa matkaryhmissä matkan kokonaiskustannuksiin.

Liikenneverkon kuvaukset ja matriisit

Varmasti eniten eroja Oulun ja pääkaupunkiseudun tutkimusten välillä aiheutui liikenneverkkojen koodaustavasta. Erojen tarkka määrittäminen ja vaikutusten arviointi on kuitenkin vaikeaa.

Liikenteen sijoittelu perustui Oulun seudun tutkimuksessa keskiarkivuorokausiliikenteen (KAVL) tarkasteluun. Pääkaupunkiseudun mallityössä matkat oli jaettu aikaryhmiin, joille kullekin oli laskettu oma kulkutapajakaumansa ja suuntautumisensa. Tämän vuoksi malleja siirrettäessä Oulun autoliikenneverkon vastukset ja vastusfunktiot oli koodattava uudelleen siten, että ne vastasivat mahdollisimman hyvin pääkaupunkiseudulla käytettyjä määriteltyjä.

Henkilöautoliikenteen matka-ajat laskettiin Emme/2-ohjelmistolla käyttäen Oulun seudun tutkimuksessa vuonna 1989 tehtyä autoliikenteen verkkoa. Oulun seudun tutkimuksessa käytetyt KAVL-viivytysfunktiot korvattiin pääkaupunkiseudun tutkimuksessa käytetyillä tuntiliikenteen viivytysfunktioilla, jotka on esitetty taulukossa 6 ja liitteissä 4 ja 5. Osa-alueen sisäisten matkojen matka-ajat laskettiin sisäisen säteen menetelmällä, jota on kuvattu liitteessä 3.

Sijoittelua varten matkamatriisit tehtiin erikseen iltaruuhkalle ja päiväliikenteelle. Autoliikenteen päivämatriisi tuotettiin Oulun seudun tutkimuksessa laaditusta KAVL-matriisista kertoimella 0,05. Iltaruuhkamatriisi saatiin kertomalla KAVL-matriisin keskustasta poispäin suuntautuvien matkojen määrä 0,10:llä ja muiden matkojen määrä 0,05:llä. Henkilöautomatka katsottiin ruuhka-aikana tehdyksi, jos se oli alkanut 15.30 - 17.30. Joukkoliikenteen ruuhka-ajoiksi valittiin klo 7.30 - 9.30 ja 15.30 - 17.30, jolloin vuoroväli oli normaalia lyhyempi.

Henkilöautoliikenteeseen liittyvien kävelymatkojen kestonä käytettiin pääkaupunkiseudulla käytettyjä arvoja, jotka olivat kantakaupungissa 1,6 min (lähtöpaikka) ja 1,8 min (määräpaikka) ja muualla seudulla 1,5 min (sekä lähtö- että määräpaikka). Oulun kantakaupungiksi määriteltiin pienosa-alueet 1 - 6, 8, 25, 28, 29, 32-35, 42, 119, 121 ja 122.

Taulukko 6: Pääkaupunkiseudun mallien siirtämisessä käytetyt auto- ja joukkoliikenteen viivytysfunktiot.

Nopeusrajoitus (km/h)	Toiminnallinen/hallinnollinen luokka	Autoliikenteen viivytysfunktio	Joukkoliikenteen viivytysfunktio
< 50	pt, kokoojakadut	fd30	ft6 (timau+0,2)
50, 55	pt, kokoojakadut	fd32,fd33	ft5 (timau+0,2)
60, 65	vt, mt,pt,pääkadut	fd35	ft4 (timau+0,2)
70	pt	fd36	ft3 (timau+0,4)
80	kokoojatiet	fd38	ft3 (timau+0,4)
80	maantiet (voi olla 2-ajor.)	fd39	ft3 (timau+0,4)
80	mol	fd40	ft2 (timau+0,5)
100	mo, mol	fd42	ft1 (timau+0,6)

Joukkoliikenteen verkko tehtiin pienosa-aluejaolle Oulun seudun tutkimuksessa koodatun autoliikenteen verkon pohjalta. Reitti- ja aikataulutiedot saatiin Koskilinjat Oy:stä. Lopulliset matka-ajat saatiin lisäämällä henkilöautosijoittelusta saatuun matka-aikaan väylän luokasta ja nopeustasosta riippuva pysäkkikohtainen viivytys. Pysäkkivastus oli korkea-luokkaisilla väylillä 0,6 minuuttia pysäkkiä kohden ja 0,2 minuuttia keskustan kaduilla, joilla nopeusrajoitus oli 50 - 60 km/h (taulukko 6). Arvot saatiin kokeilemalla ja vertailemalla sijoittelusta saatuja matka-aikoja ilmoitettuihin reittiaikoihin.

Oulun joukkoliikenteen pitkät vuorovälit aiheuttivat ongelmia sijoittelussa. Emme/2-ohjelma jakaa alueelle tulevat matkat eri linjoille odotusaikojen käänteisarvojen suhteessa. Vuorovälien ollessa 15 - 30 minuuttia ovat kaikki tietylle alueelle saapuvat linjat odotusaikojen puolesta yhtä kilpailukykyisiä, jolloin matkat jaetaan tasan alueelle tuleville linjoille - myös niille, joilla joudutaan vaihtamaan, vaikka lähtö- ja määräpaikan välillä olisikin suora yhteys, jota todennäköisesti käytetään. Tällöin odotusaika lähtöpäässä pienenee, mutta vaihdon yhteydessä tulee ylimääräisiä odotusaikoja. Seurauksena on myös vaihtojen merkityksen väheneminen malleissa.

Ongelmaa yritettiin pienentää lisäämällä pysäkkisyöttöjä ja käyttämällä malleissa joukkoliikenteen valinneille ruokakuntahaastattelusta saatuja tietoja vaihtojen määrästä. Tutkimuksen alussa selvitettiin myös mahdollisuutta lyhentää sijoittelun maksimiodotusaikaa 12 minuutista 7 - 10 minuuttiin. Muutoksen takia odotusajan kerroin malleissa jäi ennalta odotettua pienemmäksi, minkä vuoksi muutosta ei lopullisessa sijoittelussa tehty.

5 PÄÄKAUPUNKISEUDUN KULKUTAPAMALLIEN SIIRTÄMINEN OULUUN

5.1 Kotiperäisten työmatkamallien siirto

5.11 Alkuperäiset mallit

Alkuperäiset työmatkamallit on esitetty taulukoissa 7 ja 8. Mallien siirtoa kokeiltiin LITU 88:n yhteydessä tehdyllä nk. perusmallilla (= laaja työmatkamalli), jossa kokonaismatka-ajat oli jaettu osakomponentteihin [YTV, liikenneministeriö 1991 b] sekä varsinaisen mallityön jälkeen suuntautumismallien jatkokehittelyssä tehdyllä suppealla mallilla, jossa on tarkasteltu kokonaismatka-aikoja [Granholm 1994]. Siirrettyjen mallien muuttujat on kuvattu liitteessä 6.

Taulukoissa esiintyviä junamuuttujia ei Oulussa käsitelty, vaan vaihtoehtoiset kulkutavat olivat kevytliikenne, bussi ja henkilöauto.

Taulukko 7: Pääkaupunkiseudun työmatkojen laajan kulkutapamallin (hav. lkm. 4780) kertoimet ja kertoimien t-arvot [YTV, liikenneministeriö 1991 b].

Muuttuja	Kulkutapa	Kerroin	Keski-hajonta	t-arvo
Etäisyys 0-10 km	Kv	-0,88377	0,03133	-28,2
Etäisyys 10 km	Kv	-0,16392	0,03387	-4,8
Ajoaika	Bs,Ju,Ha	-0,01338	0,00341	-3,9
Liityntäkävely	Bs,Ju,Ha	-0,03476	0,00451	-7,7
Odotusaika	Bs,Ju	-0,04733	0,00759	-6,2
Liityntäaika/ha-matka	Ju	-0,27809	0,04847	-5,7
Kustannukset	Bs,Ju,Ha	-0,24679	0,00839	-29,4
Vaihdot bussi	Bs	-0,69802	0,05402	-12,9
Vaihdot juna	Ju	-0,42294	0,04253	-9,9
Pysäköintimuuttuja	Ha	-0,99999	0,17627	-5,7
Oma pysäköintipaikka	Ha	0,98780	0,11926	8,3
Autoa/rk	Bs,Ju	-1,10061	0,19502	-5,6
Työsuhdeauto	Ha	1,29331	0,11295	11,4
Sukupuoli	Ha	1,61479	0,08588	18,8
Vakio kevytliikenne	Kv	-0,74109	0,19031	-3,9
Vakio juna	Ju	0,78365	0,16698	4,7
Vakio henkilöauto	Ha	-3,29958	0,17861	-18,5
$\rho^2(0)$				0,471
Kv = kevytliikenne				
Bs = linja-auto ja raitiovaunu				
Ju = juna ja metro				
Ha = henkilöauto				

LITU 88:n yhteydessä laadittua yksinkertaistettua kulkutapamallia ei siirretty, koska mallin estimointi olisi edellyttänyt tietoa ruokakunnan tuloista. Yksinkertaistetun mallin sijasta käytettiin LITU 88:n mallityön jälkeen estimoitua sup- peaa mallia (taulukko 8). Suppea malli poikkeaa LITU 88:n yhteydessä laaditusta yksinkertaistetusta mallista paitsi kustannusmuuttujan suhteen myös siten, että mallista on jätetty pois pysäköintimuuttuja ja ruokakunnan autojen lukumäärää kuvaava muuttuja. Lisäksi suppeassa mallissa bussi- ja junavaihdoille on kummallekin estimoitu oma erillinen kerroin.

Taulukko 8: Pääkaupunkiseudun työmatkojen suppean kulkutapamallin (hav. lkm. 4780) kertoimet ja kertoimien t-arvot [Granholm1994].

Muuttuja	Kulkutapa	Kerroin	Keski- hajonta	t-arvo
Ln (etäisyys)	Kv	-3,7090	0,0960	-38,6
Kokonaisaika	Bs,Ju,Ha	-0,0210	0,0026	-8,2
Kustannukset	Bs,Ju,Ha	-0,2217	0,0641	-34,6
Vaihdot bussi	Bs	-0,6251	0,0483	-12,9
Vaihdot juna	Ju	-0,5563	0,0262	-21,3
Dummy kevytliikenne	Kv	1,4910	0,1370	10,9
Dummy henkilöauto	Ha	-1,2420	0,0953	-13,0
$\rho^2(0)$				0,386
Kv = kevytliikenne				
Bs = linja-auto ja raitiovaunu				
Ju = juna ja metro				
Ha = henkilöauto				

Perusmallissa ajoajan arvo oli 3,3 mk/tunti, liityntäkävelyajan arvo 8,5 mk/tunti ja odotusajan arvo 11,5 mk/tunti. Kertoimet ja ajan arvot osoittavat, että odotusaika ja liityntäkävelyt koettiin pääkaupunkiseudulla epämiellyttävämpinä kuin vaunussaoloaika. Mallilla, jossa muuttujana oli kokonaismatka-aika, saatiin ajan arvoksi 5,7 mk/tunti, mikä on alle puolet tielaitoksen käyttämästä ajan arvosta.

Työmatkamallien siirtoa testattiin

- * suoraan siirtämällä, jolloin alkuperäinen malli siirrettiin sellaisenaan ilman kalibrointia (malli 1)
- * kokonaisuutena siirtämällä, jolloin vaihtoehtokohtaiset vakiot määritettiin uudelleen (malli 2)
- * paloittain siirtämällä, jolloin vaihtoehtokohtaiset vakiot määritettiin uudelleen, ja etäisyysmuuttujalle, matka-aikamuuttujille ja muille kulkutapamuuttujille määritettiin kullekin erikseen yksi koko muuttujaryhmää koskeva korjauskerroin (malli 3)
- * estimoimalla alkuperäisen mallin kertoimet uudelleen (malli 4)
- * estimoimalla kokonaan uusi malli (malli 5).

Mallien siirrettävyyttä testattiin tarkastelemalla vakiotermejä (mallit 2 - 5), tasokorjauskertoimia (malli 3), ajan arvoja ja suoraan siirretyn mallin kykyä ennustaa kulkutavan valintaa.

5.12 Tulokset laajan työmatkamallin siirrosta

Yhteenveto laajojen työmatkamallien siirrosta on esitetty taulukossa 9. ρ^2 -arvojen perusteella työmatkamallien siirrettävyyttä paransi eniten vaihtoehtokohtaisten vakioden uudelleenestimointi, mutta sen jälkeen muutokset olivat pieniä.

Ajoajan arvoksi saatiin suoraan siirretyllä mallilla 3,3 mk/tunti, tasokorjatulla mallilla 1,9 mk/tunti ja uudelleen estimoidulla mallilla 2,6 mk/tunti.

Taulukosta 10 havaitaan, että mallin 2 vaihtoehtokohtaiset vakiot poikkesivat merkitsevästi pääkaupunkiseudulla estimoiduista arvoista. Vaihtoehtokohtaisten vakioden uudelleenestimointi oli siis tälläkin perusteella tarkoituksenmukaista.

Taulukko 10: Oulun ja pääkaupunkiseudun laajojen työmatkamallien vaihtoehtokohtaisten vakioden poikkeavuus toisistaan t-testillä mitattuna. Ero on merkitsevä 95 %:n merkitsevyystasolla, jos $|t\text{-arvo}|$ on yli 1,96.

	t_{ha}	t_{kv}
Malli 2	5,54	8,82
Malli 3	1,84	2,63
Malli 4	1,97	0,49

Tasokorjauskertoimia testattiin käyttämällä sekä matka-aika- ja etäisyysmuuttujille yhteistä että molemmille muuttujaryhmille erillistä tasokorjauskerrointa. Taulukosta 11 havaitaan, että matka-aikamuuttujat olivat siirrettävissä sellaisenaan (tasokorjauskerroin ei poikennut merkitsevästi ykkösestä), kun etäisyysmuuttujan tasokorjaus estimoitui erikseen. Sen sijaan etäisyysmuuttujien ja muiden kulkutapamuuttujien tasokorjauskerroin poikkesi merkitsevästi sekä nolasta että ykkösestä. Matka-aika- ja etäisyysmuuttujien yhteisen tasokorjauskertoimen arvo oli 0,77.

Taulukko 11: Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirretyn tasokorjatun laajan työmatkamallin tasokorjauskertoimien poikkeavuus nolasta ja ykkösestä.

	Matka-aika- muuttujat	Muut kulkutapa- muuttujat	Etäisyys- muuttuja
Tasokorj.	0,8836	0,5371	0,7761
t(0)	2,5	10,2	9,2
t(1)	0,33	-8,77	-2,67

Taulukko 9: Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen laajojen työmatkamallien kertoimet ja kertoimien t-arvot (hav. lkm. 817).

Muuttuja	Malli 1 suoraan siirretty	Malli 2 ve.koht.vakio estimoitu uudelleen	Malli 3 tasokorjattu	Malli 4 uudelleen estimoitu
<i>Kevyttiikenteen muuttajat</i>				
Vakio	-0,74109 (-)	1,475 (9,0)	0,1022 (0,2)	-0,4198 (-0,7)
Et. muuttujan tasokorjaus			0,7761 ^{Tk} (9,2)	
Etäisyys 0-10 km	-0,88377 (-)	-0,88377 (-)	(-0,6860) (-)	-0,6929 (-7,5)
Etäisyys 10-km	-0,16392 (-)	-0,16392 (-)	(0,1272) (-)	-0,6449 (-2,5)
<i>Ha-muuttajat</i>				
Vakio	-3,29958 (-)	-1,966 (-12,2)	-2,287 (-4,4)	-2,145 (-3,8)
Liik.järj. muuttujien tasokorjaus			0,8836 ^{Tk} (2,5)	
Ajoaika	-0,01338 (-)	-0,01338 (-)	(-0,01182) (-)	-0,01795 (-1,0)
Liityntäkävely	-0,03476 (-)	-0,03476 (-)	(-0,03071) (-)	-0,04162 (-2,3)
Kustannukset	-0,24679 (-)	-0,24679 (-)	-0,3709 (-5,5)	-0,4112 (-5,4)
Muiden kulkutapamuuttujien tasokorjauskerroin			0,5371 ^{Tk} (10,2)	
Pysäköintimuuttuja	ei käytetty	ei käytetty	ei käytetty	ei käytetty
Oma pysäköintipaikka	0,98780 (-)	0,98780 (-)	(0,5305) (-)	0,9943 (3,7)
Työsuhdeauto	1,29331 (-)	1,29331 (-)	(0,6929) (-)	1,800 (4,0)
Sukupuoli	1,61479 (-)	1,61479 (-)	(0,8673) (-)	1,388 (8,4)
<i>Bussi-muuttajat</i>				
Liik.muuttujien tasokorjauskerroin			0,8836 ^{Tk} (2,5)	
Ajoaika	-0,01338 (-)	-0,01338 (-)	(-0,01182) (-)	-0,01795 (-1,0)
Odotusaika	-0,04733 (-)	-0,04733 (-)	(-0,04182) (-)	-0,02852 (-0,8)
Liityntäkävely	-0,03476 (-)	-0,03476 (-)	(0,03071) (-)	0,04162 (-2,3)
Kustannukset	-0,24679 (-)	-0,24679 (-)	-0,3709 (-5,5)	-0,4112 (-5,4)
Vaihdot bussi	-0,69802 (-)	-0,69802 (-)	(-0,6167) (-)	-0,4294 (-1,3)
Muiden kulkutapamuuttujien tasokorjauskerroin			0,5371 ^{Tk} (10,2)	
Auto/rk	-1,10061 (-)	-1,10061 (-)	(-0,5911) (-)	-0,5940 (-2,1)
$\rho^2(0)$	0,1467	0,2923	0,3379	0,3443

(1,1) t(0)
(1,1111) tasokorjauskertoimella kerrottu kerroin
Tk tasokorjauskerroin

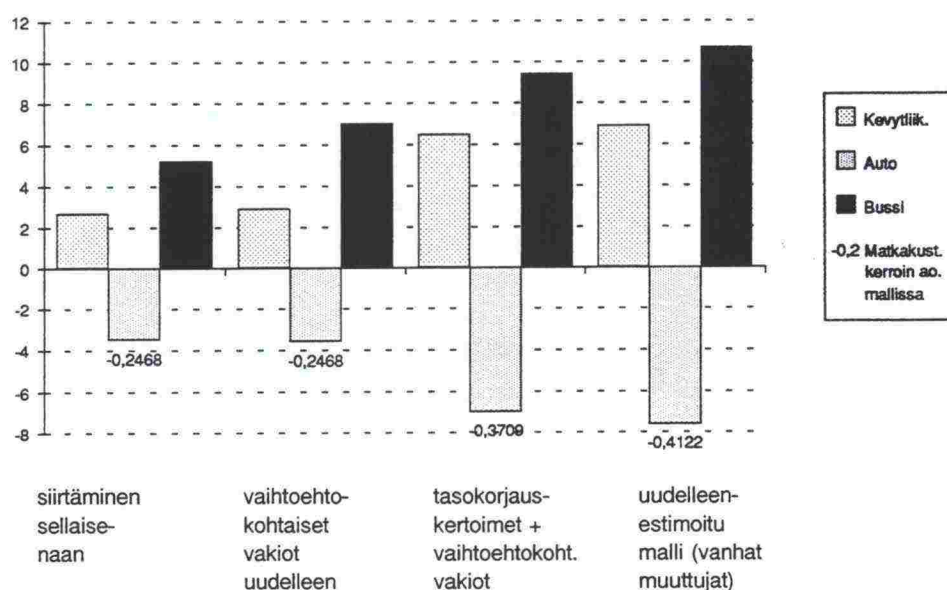
Siirrettyjen mallien kykyä ennustaa kulkutavan valintaa on tarkasteltu taulukossa 12. Taulukosta havaitaan, että mallit, joiden vaihtoehtokohtaiset vakiot oli estimoitu uudestaan, ennustivat valintoja hyvin. Suoraan siirretty malli ennusti liikaa joukkoliikenne- ja henkilöautomatkoja ja liian vähän kevytliikennematkoja. Tämä on luonnollista, koska kulkutapajakaumat Oulussa ja pääkaupunkiseudulla poikkesivat selvästi toisistaan.

Taulukko 12: Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen laajojen työmatkamallien kulkutapaosuudet eri malleilla ennustettuna.

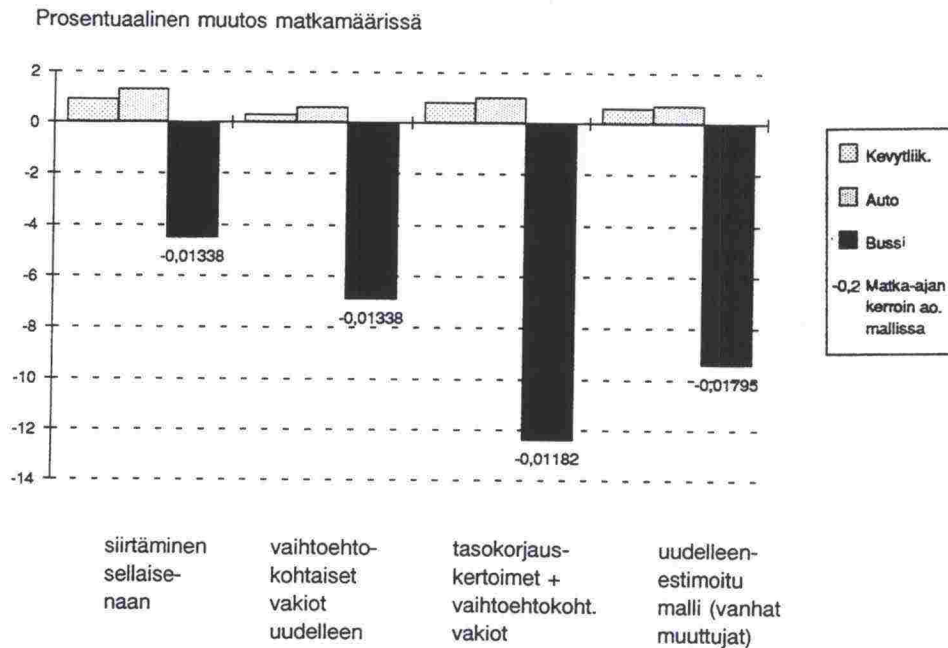
	Malli 1 siirtäminen sellaise- naan		Mallit 2-4 joissa vähintään vaihtoehtokohtainen vakio on estimoitu uudelleen		Oulun postikysely	
	N	%	N	%	N	%
Ha	428	52,3	403	49,3	403	49,3
Bs	167	20,4	54	6,6	54	6,6
Kv	222	27,3	360	44,1	360	44,1

Mallien kykyä ennustaa liikennejärjestelmässä tapahtuvien muutosten vaikutuksia tutkittiin testaamalla ajoneuvokustannusten 10 %:n nousun ja joukkoliikenteen matka-ajan 30 %:n kasvun vaikutuksia kulkutapaosuuksiin (kuvat 5 - 6). Palkin alla oleva luku on muutettavan muuttujan kertoimen arvo.

Prosentuaalinen muutos matkamäärissä



Kuva 5: Ajoneuvokustannusten 10 %:n nousun vaikutus Oulun työmatkojen kulkutapajakaumaan laajoilla malleilla ennustettuna.



Kuva 6: Joukkoliikenteen ajo-ajan 30 %:n kasvun vaikutus Oulun työmatkojen kulkutapajakaumaan laajoilla malleilla ennustettuna.

Ajoneuvokustannusten 10 %:n nousu vähensi henkilöautomatkoja eniten tasokorjatulla ja uudelleenestimoidulla mallilla, joilla muutos oli noin 7 %. Suoraan siirretyllä mallilla ja mallilla, jossa vain vaihtoehtokohtaiset vakiot oli estimoitu uudelleen, muutos oli noin 3,5 %.

Joukkoliikenteen ajo-ajan kasvun osalta johtopäätösten teko oli vaikeampaa. Odotettua olisi ollut, että muutos joko pienenee tai suurenee säännönmukaisesti mallia korjattaessa. Tässä tapauksessa tasokorjattu malli vähensi joukkoliikennematkoja eniten (12,4 %). Suoraan siirretty malli ennusti pienintä muutosta (4,5 %) ja mallit, joissa vaihtoehtokohtaiset vakiot oli estimoitu uudelleen, ennustivat 7 - 12 %:n muutosta. Mallien väliset suuret erot selittyvät paljolti joukkoliikenteen havaintojen vähäisyydellä.

5.13 Tulokset suppean työmatkamallin siirrosta

Suppean mallin siirtämisessä noudatettiin pääosin samoja periaatteita kuin laajan mallin siirtämisessä. Lisäksi siirrettyjä malleja verrattiin paikallisesti estimoituun parhaaseen mahdolliseen malliin, johon oli lisätty ruokakunnan autojen lukumäärää kuvaava muuttuja. Myös kokonaan uusia muuttujia (ikä, työssäkäynti, asutokunnan koko) kokeiltiin, mutta ne eivät parantaneet mallia.

Yhteenvedo suppean mallin siirtämisestä on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13: Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen suppeiden työmatkamallien kertoimet ja kertoimien t-arvot (hav. lkm. 817).

Muuttuja	Malli 1 suoraan siirretty	Malli 2 vaihtoehto- kohtaiset va- kiot estimoitu uudelleen	Malli 3 tasokorjattu	Malli 4 uudelleen estimoitu (vanhat muut- tajat)	Malli 5 kokonaan uudelleen estimoitu vertailumalli
<i>Kevytliikenteen muuttujat</i>					
Vakio	-0,6251 (-)	3,882 (24,4)	1,433 (3,3)	2,071 (5,0)	1,866 (4,3)
Et. muuttujan tasokorjaus			0,5761 ^{Tk} (9,5)		
Ln(etäisyys)	-3,709 (-)	-3,709 (-)	(-2,1368) (-)	-2,103 (-9,0)	-1,896 (-7,7)
<i>Ha-muuttujat</i>					
Vakio	-1,242 (-)	0,1223 (-)	-0,1576 (-)	0,5073 (1,4)	-1,740 (-3,9)
Liik.muuttujien tasokorjaus			0,7862 ^{Tk} (2,9)		
Matka-aika	-0,02101 (-)	-0,02101 (-)	(-0,0165) (-)	-0,00770 (-0,9)	-0,00630 (-0,7)
Kustannukset	-0,2217 (-)	-0,2217 (-)	-0,2563 (-5,1)	-0,2344 (-4,7)	-0,2418 (-4,4)
Autoa/rk					2,536 (10,4)
<i>Bussi-muuttujat</i>					
Liik.muuttujien tasokorjauskertoimen			0,7862 ^{Tk} (2,9)		
Matka-aika	-0,02101 (-)	-0,02101 (-)	(-0,0165) (-)	-0,00770 (-0,9)	-0,00630 (-0,7)
Kustannukset	-0,2217 (-)	-0,2217 (-)	-0,2563 (-5,1)	-0,2344 (4,7)	-0,2418 (4,4)
Vaihdot bussi	-0,6251 (-)	-0,6251 (-)	(-0,4915) (-)	-0,4333 (-1,5)	-0,3735 (-1,3)
p ² (0)	0,0059	0,1801	0,2504	0,2471	0,3662

(1,1)

(1,1111)

Tk

t(0)

tasokorjauskertoimella kerrottu kerroin

tasokorjauskertoimen

ρ^2 -arvojen perusteella suppean mallin siirrettävyyttä paransi eniten vaihtoehtokohtaisten vakioiden uudelleenestimointi, joskaan ρ^2 -arvo ei ollut vielä kovin hyvä. Tasokorjatun mallin ρ^2 -arvo oli sama kuin uudelleenestimoidulla mallilla. Vertailumallin selitysastetta paransi eniten ruokakunnan autojen lukumäärää kuvaavan muuttujan sijoittaminen henkilöauton hyötyfunktioon. Poikkeuksellisen suuri vaikutus johtunee kulkutapajakauman vinoudesta.

Kokonaismatka-ajan arvoksi saatiin suoraan siirretyllä mallilla 5,7 mk/tunti, tasokorjatulla mallilla 3,9 mk/tunti ja uudelleen estimoidulla mallilla 2,0 mk/tunti. Vertailumallilla kokonaismatka-ajan arvoksi saatiin 1,6 mk/tunti.

Mallin 2 vaihtoehtokohtaiset vakiot poikkesivat merkitsevästi pääkaupunkiseudulla estimoiduista arvoista, joten vaihtoehtokohtaisten vakioiden uudelleen estimointi oli perusteltua myös suppealla mallilla (taulukko 14).

Taulukko 14: Oulun ja pääkaupunkiseudun suppeiden työmatkamallien vaihtoehtokohtaisten vakioiden poikkeavuus toisistaan t-testillä mitattuna. Ero on merkitsevä 95 %:n merkitsevyystasolla, jos | t-arvo | on yli 1,96.

	t_{ha}	t_{kv}
Malli 2	7,73	11,44
Malli 3	2,58	-0,13
Malli 4	4,64	1,33
Malli 5	4,79	1,34

Kuten laajassa mallissakin, tasokorjaus tehtiin erikseen matka-aika- ja etäisyysmuuttujille. Matka-aikamuuttujien tasokorjauskerroin oli 0,7862 ja etäisyysmuuttujan 0,5761. Matka-aikamuuttujat olivat siirrettävissä sellaisenaan (tasokorjauskerroin ei poikennut merkitsevästi ykkösestä). Sen sijaan etäisyysmuuttujan tasokorjauskerroin poikkesi merkitsevästi sekä nolasta että ykkösestä. Muiden kulkutapamuuttujien tasokorjausta ei suppeassa mallissa ollut (taulukko 15).

Taulukko 15: Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirretyn tasokorjatun suppean työmatkamallin tasokorjauskertoimien poikkeavuus nolasta ja ykkösestä.

	Matka-aika muuttujat	Etäisyys- muuttuja
Tasokorj.	0,7862	0,5761
t(0)	2,9	9,5
t(1)	0,79	6,96

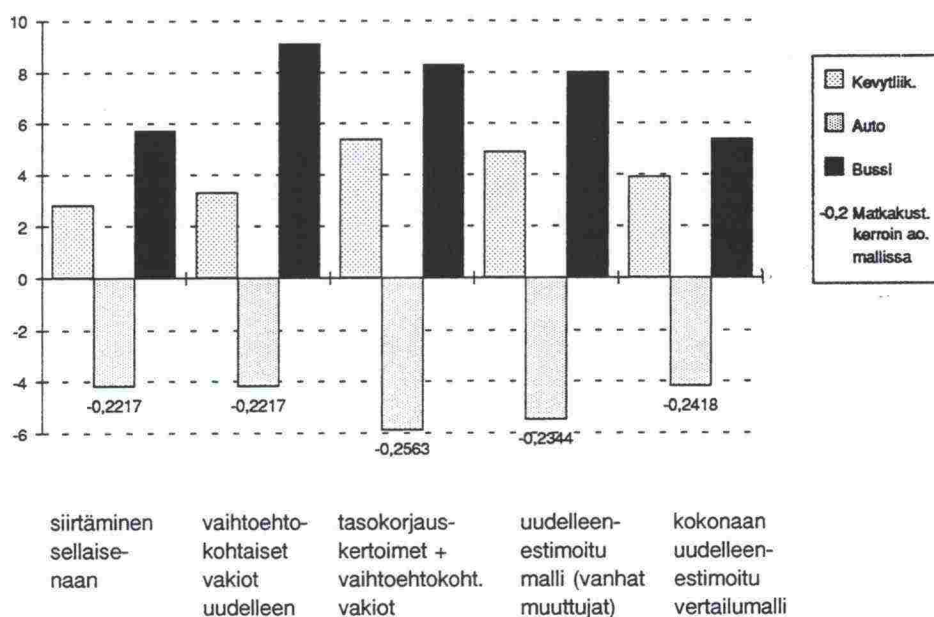
Tasokorjatut ja uudelleenestimoidut mallit ennustivat kulkutavan valintoja hyvin (taulukko 16), mutta kuten laajallakin mallilla, suoraan siirretty malli ennusti liikaa bussimatkoja ja liian vähän kevytliikennematkoja.

Taulukko 16: Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen suppeiden työmatkamallien kulkutapaosuudet eri malleilla ennustettuna.

	Malli 1 siirtäminen sellaise- naan		Mallit 2 - 5 joissa vähintään vaihtoehtokohtainen vakio on estimoitu uudelleen		Oulun posti- kysely	
	N	%	N	%	N	%
Ha	405	49,7	403	49,3	403	49,3
Bs	188	23,0	54	6,6	54	6,6
Kv	224	27,3	360	44,1	360	44,1

Ajoneuvokustannusten 10 %:n muutos vähensi henkilöautomatkoja 4 - 6 % siten, että tasokorjattu ja uudelleenestimoitu malli ennustivat hieman suurempia muutoksia kuin muut mallit. Mallien väliset erot olivat kuitenkin hyvin pieniä (kuva 7). Henkilöautosta joukkoliikenteeseen siirtyneiden osuus oli prosenteissa suuri, mutta määrällisesti pieni, koska kaikenkaikkiaan joukkoliikenteen valinnoita oli hyvin vähän.

Prosentuaalinen muutos matkamäärissä

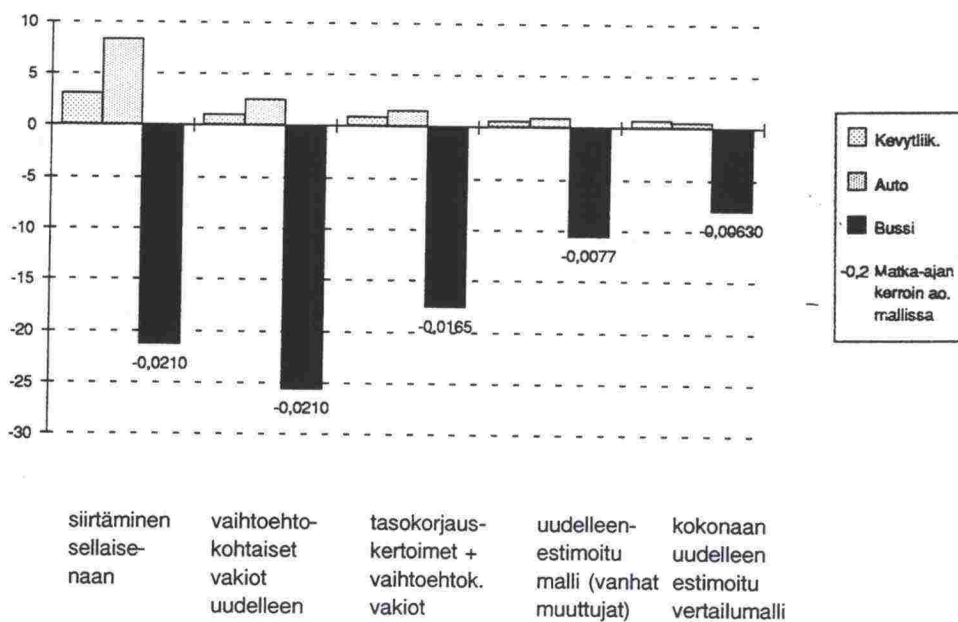


Kuva 7: Ajoneuvokustannusten 10 %:n nousun vaikutus Oulun työmatkojen kulkutapajakaumaan suppeilla malleilla ennustettuna.

Joukkoliikenteen matka-ajan 30 %:n kasvu vähensi joukkoliikennematkoja sitä enemmän, mitä vähemmän mallia oli siirrettäessä korjattu (kuva 8).

Jos oletetaan, että p^2 -arvoltaan paras malli ennustaa myös muutosvaikutukset parhaiten, voidaan todeta, että joukkoliikenteen matka-ajassa tapahtuvien muutosten ennustaminen vaati mallien tarkempaa siirtämistä kuin tarve selittää henkilöautoliikenteen kustannuksissa tapahtuvia muutoksia. Ilmiö ei kuitenkaan kokonaisuudessaan liity mallien siirtämiseen vaan myös joukkoliikennematkojen vähäisyyteen aineistossa. Pienetkin muutokset aiheuttivat joukkoliikenteen osalta isoja prosentuaalisia eroja. Verrattaessa muutoksia laajoilla malleilla ennustettuihin muutoksiin, on huomattava, että muutos koskee kokonaismatka-aikaa, kun se laajoilla malleilla koski vain ajoaikaa.

Prosentuaalinen muutos matkamäärissä



Kuva 8: Joukkoliikenteen matka-ajan 30 %:n kasvun vaikutus Oulun työmatkojen kulkutapajakaumaan suppeilla malleilla ennustettuna.

5.2 Muiden kotiperäisten matkojen EHAP-ryhmän mallin siirto

Muiden kotiperäisten matkojen EHAP-ryhmän mallien siirtoa tutkittiin LITU-88:n yhteydessä tehdyllä perusmallilla (taulukko 17). Mallissa noudatettiin samaa edestakaisen matkan käsittelyperiaatetta kuin työmatkoilla [YTV, liikenneministeriö 1991 b]. Siirrettyjen mallien muuttujat on määritelty liitteessä 7. Kokonaismatka-ajan arvo mallissa on 4,5 mk/tunti.

Taulukko 17: Pääkaupunkiseudun muiden kotiperäisten matkojen EHAP-ryhmän kulkutapamallin (perusmalli, hav. lkm. 4050) kertoimet ja kertoimien t-arvot [YTV, liikenneministeriö 1991 b].

Muuttuja	Kulkutapa	Kerroin	Keski-hajonta	t-arvo
Etäisyys 0-5 km	Kv	-1,05121	0,04204	-25,0
Etäisyys 5-10 km	Kv	-0,70805	0,05305	-13,3
Kokonaisaika	Bs,Ju,Ha	-0,01170	0,00291	-4,0
Liityntäaika/ha-matka	Ju	-0,19386	0,04116	-4,7
Kustannukset	Bs,Ju,Ha	-0,15620	0,00856	-18,2
Vaihdot bussi	Bs	-0,80107	0,06201	-12,9
Vaihdot juna	Ju	-0,46056	0,04934	-9,3
Ln(pyssuhl-5)	Ha	-0,04598	0,04563	-1,0
Autoa/rk	Bs,Ju	-1,96623	0,17771	-11,1
Työsuhdeauto	Ha	0,94068	0,11312	8,3
Vakio kevytliikenne	Kv	0,50744	0,17692	2,9
Vakio juna	Ju	0,11588	0,16285	0,7
Vakio henkilöauto	Ha	-3,23139	0,16025	-20,2
$\rho^2(0)$				0,344
Kv = kevytliikenne Bs = linja-auto ja raitiovaunu Ju = juna ja metro Ha = henkilöauto				

Mallin siirtoa testattiin

- * suoraan siirtämällä, jolloin alkuperäinen malli siirrettiin sellaiseen ilman kalibrointia (malli 1)
- * kokonaisuutena siirtämällä, jolloin vaihtoehtokohtaiset vakiot määritettiin uudelleen (malli 2)
- * paloittain siirtämällä, jolloin vaihtoehtokohtaiset vakiot määritettiin uudelleen, ja etäisyysmuuttujille, matka-aikamuuttujille ja muille kulkutapamuuttujille määritettiin kullekin erikseen yksi koko muuttujaryhmää koskeva korjauskertoimen (malli 3)
- * estimoimalla alkuperäisen mallin kertoimet uudelleen (malli 4)
- * estimoimalla kokonaan uusi malli (malli 5).

Yhteenvedon mallin siirrosta on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18: Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen muiden kotiperäisten matkojen EHAP-ryhmän mallien kertoimet ja kertoimien t-arvot (hav. lkm. 712).

Muuttuja	Malli 1 suoraan siir- retty	Malli 2 vaihtoehto- kohtaiset va- kiot estimoitu uudelleen	Malli 3 tasokorjattu	Malli 4 uudelleen es- timoitu (vanhat muut- tajat)	Malli 5 kokonaan uudelleen estimoitu ver- tailumalli
<i>Kevytliik. muuttajat</i>					
Vakio	0,5074 (-)	3,154 (20,6)	1,489 (3,3)	0,4549 (0,6)	0,8418 (1,2)
Etäisyysmuuttajien ta- sokorjauskertoimen			0,7726 ^{Tk} (8,3)		
Etäisyys 0-5 km	-1,051 (-)	-1,051 (-)	(-0,8120) (-)	-0,7842 (-6,8)	-0,8059 (-7,0)
Etäisyys 5-10-km	-0,7081 (-)	-0,7081 (-)	(-0,5470) (-)	-0,8983 (-5,9)	-0,8075 (-5,4)
<i>Ha-muuttajat</i>					
Vakio	-3,231 (-)	-1,057 (-6,9)	-1,165 (-3,0)	-1,823 (-3,1)	-2,304 (-3,9)
Liik.järj.muuttajien tasokorjauskertoimen			0,8441 ^{Tk} (2,2)		
Matka-aika	-0,0117 (-)	-0,0117 (-)	(-0,0098) (-)	-0,01974 (-1,9)	-0,01957 (-1,9)
Kustannukset	-0,1562 (-)	-0,1562 (-)	-0,3114 (-3,7)	-0,4116 (-4,2)	-0,4041 (-4,1)
Ln(pyssuhl-5)	ei käytetty	ei käytetty	ei käytetty	ei käytetty	ei käytetty
Muiden kulkutapamuut- tujen tasok.			0,4122 ^{Tk} (3,1)		
Työsuhdeauto	0,9407 (-)	0,9407 (-)	(0,3878) (-)	1,321 (2,9)	
Autoa/rk					1,514 (7,2)
<i>Bussi-muuttajat</i>					
Liik.järj. muuttajien tasokorjauskertoimen			0,8441 ^{Tk} (2,2)		
Matka-aika	-0,0117 (-)	-0,0117 (-)	(-0,0098) (-)	-0,01974 (-1,9)	-0,01957 (-1,9)
Kustannukset	-0,1562 (-)	-0,1562 (-)	-0,3114 (-3,7)	-0,4116 (-4,2)	-0,4041 (-4,1)
Vaihdot bussi	-0,8011 (-)	-0,8011 (-)	(-0,6762) (-)	-0,8213 (-1,9)	-0,7949 (-1,9)
Muiden k.tap tasokorj.			0,4122 ^{Tk} (3,1)		
Autoa/rk	-1,966 (-)	-1,966 (-)	(-0,8104) (-)	-0,7211 (-2,6)	
$\rho^2(0)$	0,0013	0,2843	0,3428	0,3814	0,3820

(1,1)

(1,1111)

Tk

t(0)

tasokorjauskertoimella kerrottu kerroin

tasokorjauskertoimen

Parhaassa mallissa ruokakunnan autojen lukumäärää kuvaava muuttuja sijoitettiin henkilöauton hyötyfunktioon ja työsuhdeauton omistusta kuvaava dummymuuttuja jätettiin pois. Myös ikä-, työssäkäynti- ja perhekokomuuttujien käyttöä kokeiltiin, mutta ne eivät parantaneet mallia.

ρ^2 -arvojen perusteella mallien siirrettävyyttä paransi eniten vaihtoehtokohtaisten vakioiden uudelleenestimointi, mutta myös tasokorjauksella oli vielä selvä vaikutus.

Tasokorjattu malli antoi kokonaismatka-ajan arvoksi 1,9 mk/tunti ja uudelleenestimoitu malli 2,9 mk/tunti.

Koska vaihtoehtokohtaiset vakiot poikkesivat mallissa 2 merkitsevästi pääkaupunkiseudulla estimoiduista arvoista, mallien siirtäminen edellytti vähintään vaihtoehtokohtaisten vakioiden uudelleen estimointia (taulukko 19).

Taulukko 19: Oulun ja pääkaupunkiseudun muiden kotiperäisten matkojen EHAP-ryhmälle tehtyjen kulkutapamallien vaihtoehtokohtaisten vakioiden poikkeavuus toisistaan t-testillä mitattuna. Ero on merkitsevä 95 %:n merkitsevyystasolla, jos | t-arvo | on yli 1,96.

	t_{ha}	t_{kv}
Malli 2	9,87	11,36
Malli 3	4,92	2,05
Malli 4	-2,33	-0,07
Malli 5	1,51	0,45

Kuten työmatkoillakin matka-aikamuuttujat olivat siirrettävissä sellaisenaan (tasokorjauskerroin ei poikennut merkitsevästi ykkösestä). Sen sijaan etäisyysmuuttujien ja muiden kulkutapamuuttujien tasokorjauskerroin poikkesi merkitsevästi sekä nolasta että ykkösestä (taulukko 20).

Taulukko 20: Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirretyn muiden kotiperäisten matkojen tasokorjatun EHAP-ryhmän mallin tasokorjauskertoimien poikkeavuus nolasta ja ykkösestä.

	Matka-aikamuuttujat	Muut kulkutapamuuttujat	Etäisyysmuuttujat
Tasokorjausk.	0,7612	0,4087	0,7855
t(0)	2,2	3,1	8,2
t(1)	-0,69	-4,48	-2,24

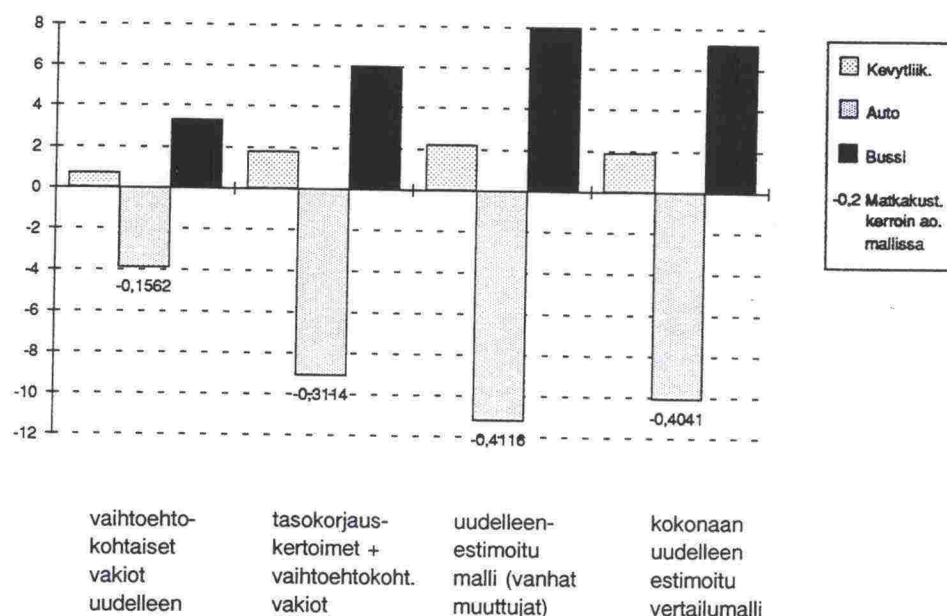
Sekä tasokorjatut että uudelleen estimoidut mallit ennustivat kulkutavan valintoja hyvin. Suoraan siirretty malli ennusti liian vähän kevyt- ja autoliikenteen matkoja ja liikaa bussimatkoja (taulukko 21).

Taulukko 21: Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen muiden kotiperäisten matkojen kulkutapaosuudet EHAP-ryhmän eri malleilla ennustettuna.

	Malli 1 siirtäminen sellaise- naan		Mallit 2 - 5 joissa vähintään vaihtoehtokohtainen vakio on estimoitu uudelleen		Oulun posti kysely	
	N	%	N	%	N	%
Ha	95	13,3	148	20,8	148	20,8
Bs	255	35,8	75	10,5	75	10,5
Kv	363	50,9	490	68,7	490	68,7

Ajoneuvokustannusten 10 %:n nousu vähensi henkilöautolla tehtyjä matkoja 4 - 11 %. Muutos oli pienin mallilla, jossa vain vaihtoehtokohtaiset vakiot oli estimoitu uudelleen (kuva 9). Kun työmatkoilla suuri osa autoilijoista siirtyi käyttämään joukkoliikennettä, muilla kotiperäisillä matkoilla enemmistö siirtyi kulkemaan jalan tai pyörällä.

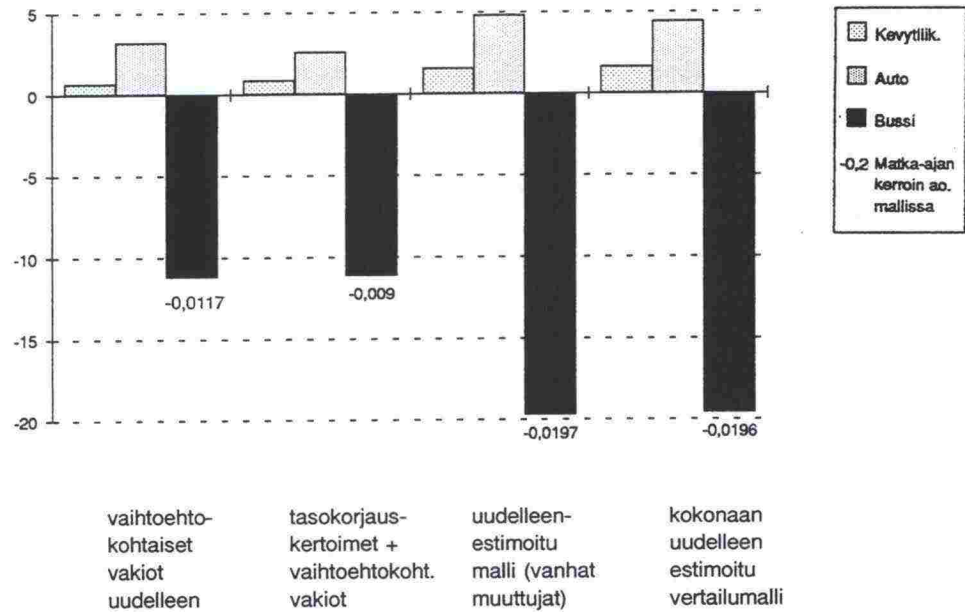
Prosentuaalinen muutos matkamäärissä



Kuva 9: Ajoneuvokustannusten 10 %:n nousun vaikutus muiden kotiperäisten matkojen kulkutapajakaumaan EHAP-ryhmän eri malleilla ennustettuna.

Siirretyt mallit eivät poikenneet merkittävästi toisistaan ennustettaessa joukkoliikenteen matka-ajan 30 %:n kasvun vaikutuksia. Sen sijaan uudelleen estimoidut mallit 4 ja 5 ennustivat siirrettyihin malleihin verrattuna lähes kaksinkertaisia muutoksia (kuva 10).

Prosentuaalinen muutos matkamäärissä



Kuva 10: Joukkoliikenteen matka-ajan 30 %:n kasvun vaikutus muiden kotiperäisten matkojen kulkutapajakaumaan EHAP-ryhmän eri malleilla ennustettuna.

5.3 Muiden kotiperäisten matkojen HAP-ryhmän mallin siirto

Muiden kotiperäisten matkojen HAP-ryhmän mallin siirtoa tutkittiin taulukossa 22 esitetyllä LITU 88:n yhteydessä tehdyllä perusmallilla [YTV, liikenneministeriö 1991 b]. Siirrettyjen mallien muuttujien laskentatapa on esitetty liitteessä 7. Kokonaismatka-ajan arvo mallissa on 7,2 mk/tunti.

Taulukko 22: Pääkaupunkiseudun muiden kotiperäisten matkojen HAP-ryhmän kulkutapamallin (hav. lkm. 2542) kertoimet ja kertoimien t-arvot (perusmalli) [YTV, liikenneministeriö 1991 b].

Muuttuja	Kulkutapa	Kerroin	Keskihajonta	t-arvo
Etäisyys 0-5 km	Kv	-0,82681	0,06077	-13,6
Etäisyys 5-10 km	Kv	-0,68104	0,07468	-9,1
Kokonaisaika	Bs,Ju,Ha	-0,01742	0,00486	-3,6
Liityntäaika/ha-matka	Ju	-0,37599	0,11747	-3,2
Kustannukset	Bs,Ju,Ha	-0,14553	0,01215	-12,0
Vaihdot	Bs,Ju	-0,29936	0,08294	-3,6
Ln(pyssuht-5)	Ha	-0,31640	0,05068	-6,2
Auto/rk	Bs,Ju	-2,11435	0,35224	-6,0
Työsuhdeauto	Ha	1,08194	0,14504	7,5
Sukupuoli	Ha	0,65093	0,10735	6,1
Vakio kevytliikenne	Kv	0,03287	0,32568	0,1
Vakio jun	Ju	0,59996	0,28672	2,1
Vakio henkilöauto	Ha	-0,85121	0,29079	-2,9
$\rho^2(0)$				0,551
Kv = kevytliikenne Bs = linja-auto ja raitiovaunu Ju = juna ja metro Ha = henkilöauto				

Koska muilla kotiperäisillä matkoilla oli Oulussa HAP-ryhmässä ainoastaan 10 joukkoliikennehavaintoa, ei uusia malleja ja mallien tasokorjausta tehty ollenkaan. Mallien siirtämistä testattiin suoraan siirtämällä ja estimoimalla vaihtoehtokohtaisille vakioille uudet arvot.

ρ^2 -arvojen perusteella (0,4158 suoraan siirretylle ja 0,4221 mallille, jossa vaihtoehtokohtaiset vakiot oli estimoitu uudestaan) mallit olivat keskenään yhtä hyviä. Mallien vaihtoehtokohtaiset vakiot eivät poikenneet merkitsevästi pääkaupunkiseudulla estimoiduista arvoista, joten vaihtoehtokohtaisten vakioiden uudelleen estimointi ei ollut tarpeellista.

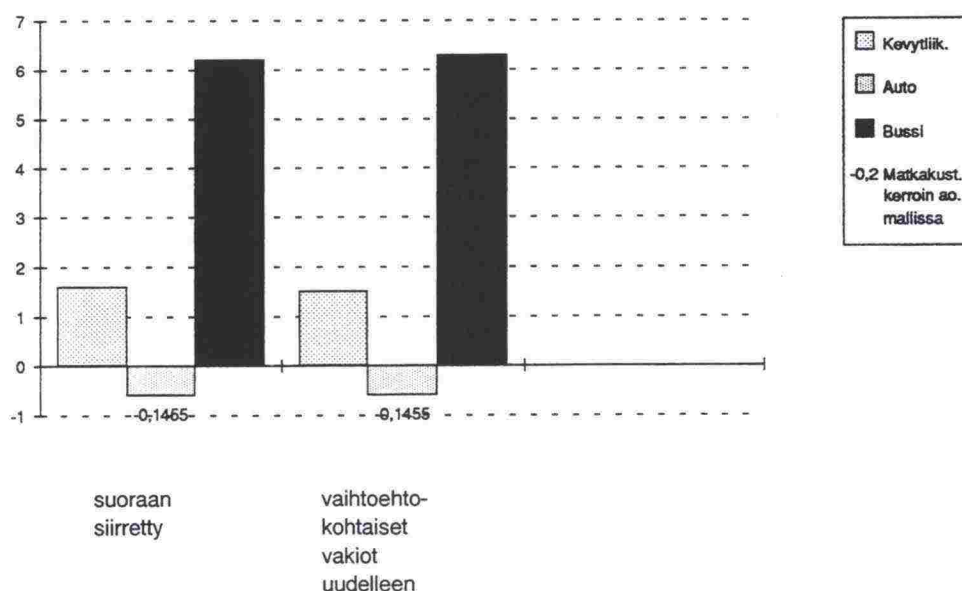
Taulukosta 23 havaitaan, että suoraan siirretty malli ennusti myös kulkutavan valintoja hyvin.

Taulukko 23: Pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen muiden kotiperäisten matkojen kulkutapaosuudet HAP-ryhmän eri malleilla ennustettuna.

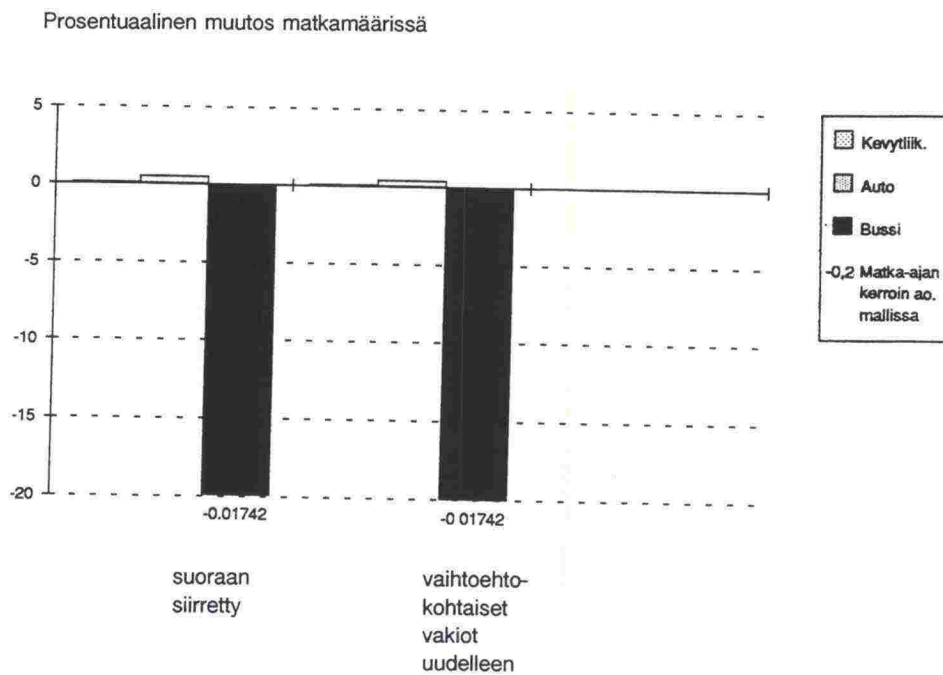
	Malli 1 siirtäminen sellaise- naan		Malli 2 vaihtoehtokohtaiset vakiot on estimoitu uudelleen		Oulun posti kysely	
	N	%	N	%	N	%
Ha	560	77,7	539	74,2	539	74,2
Bs	11	1,5	11	1,5	11	1,5
Kv	155	20,8	176	24,3	176	24,3

Ajoneuvokustannusten 10 %:n nousu vähensi henkilöautolla tehtyjä matkoja molemmilla malleilla noin 0,5 %. Sen sijaan joukkoliikenteen 30 %:n matkajan kasvun vaikutus oli molemmilla malleilla noin 20 %. Määrällisesti ero on kuitenkin pieni (kuvat 11 ja 12).

Prosentuaalinen muutos matkamäärissä



Kuva 11: Ajoneuvokustannusten 10 %:n nousun vaikutus muiden kotiperäisten matkojen kulkutapajakaumaan HAP-ryhmän eri malleilla ennustettuna.



Kuva 12: Joukkoliikenteen matka-ajan 30 %:n kasvun vaikutus muiden kotiperäisten matkojen kulkutapajakaumaan HAP-ryhmän eri malleilla ennustettuna.

6 TULOSTEN TARKASTELUA

Mallien siirrettävyys

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää mahdollisuuksia siirtää pääkaupunkiseudun kulkutapamalleja muihin kaupunkeihin. Kohdealueeksi valittiin Oulu, koska Oulun seudulla vuonna 1989 tehdyt matkatottumustutkimukset vastasivat hyvin pääkaupunkiseudun mallityön pohjana olleita tutkimuksia. Tavoitteena oli paitsi selvittää pääkaupunkiseudun kulkutapamallien siirrettävyyttä Ouluun, tarkastella myös yleisesti mallien siirtämiseen liittyviä ongelmia ja vaatimuksia.

Mallien siirtämisestä saadut tulokset osoittivat, että sekä kotiperäisten työmatkojen että muiden kotiperäisten matkojen mallit olivat siirrettävissä, jos vaihtoehtokohtaiset vakiot estimoitiin uudelleen. Kulkutapajakaumien poikkeavuuden vuoksi mallien siirtäminen ilman vaihtoehtokohtaisten vakioiden uudelleenestimointia ei ollut mahdollista. Etäisyysmuuttujan ja sosioekonomisten muuttujien tasokorjaaminen paransi paikoin tuntuvastikin selitystasetta (taulukko 24). Samalla se kuitenkin saattoi huonontaa mallien kykyä ennustaa muutosten vaikutuksia. Tulos on sopusoinnussa mm. Ruotsissa aiemmin vastaavantyyppisissä tutkimuksissa saatujen tulosten kanssa.

Taulukko 24: Yhteenveto pääkaupunkiseudulta Ouluun siirrettyjen kulkutapamallien tasokorjaustarpeesta.

Malli	Hav. lkm.	Liikennejärj.-muuttujat	Muut kulkutapamuuttujat	Etäisyysmuuttuja	ρ^2 -arvo kun vekoh.-vakiot est.	ρ^2 -arvo tasokorjatulle mallille
Laaja työmatkamalli	817	○	●	●	0,2923	0,3379
Suppea työmatkamalli	817	○	●	-	0,1801	0,2504
Muut kotiperäiset EHAP	712	○	●	●	0,2843	0,3428
Muut kotiperäiset HAP	726	-	-	-	0,4221	-

- Tasokorjaus ei poikkea merkitsevästi ykkösestä eli tasokorjauskerrointa ei tarvita
- Tasokorjaus poikkeaa merkitsevästi nollasta ja ykkösestä
- X Tasokorjaus ei poikkea merkitsevästi nollasta (muuttujat eivät selitä valintoja kohdepaikkakunnalla)
- Ei ole testattu

Oulun liikennejärjestelmämuuttujien merkitys oli samansuuntainen kuin pääkaupunkiseudulla. Sekä kokonaismatka-ajan että liikennevälineessä vietetyn ajan arvo oli kaikissa matkaryhmissä jonkin verran pääkaupunkiseutua pienempi. Matka-aika kävellen koettiin työmatkoilla noin kaksi kertaa epämiellyttävämmäksi kuin ajoaika liikennevälineessä. Matka-aikakomponenttien (ajoaika, liityntäkävely, odotusaika) todellista merkitystä ei kuitenkaan voida arvioida tämän aineiston perusteella, koska joukkoliikenteen havaintomäärien vähäisyyden vuoksi mallit olivat herkkiä pienillekin mallimäärittelyjen muutoksille.

Suppeaan työmatkamalliin lisätystä muuttujista selitysastetta paransi eniten ruokakunnan autojen lukumäärää kuvaava muuttuja. Myös sillä oli vaikutusta, oliko muuttuja sijoitettu auton vai bussin hyötyfunktioon. Parametrien poikkeuksellisen suuri ero johtunee kulkutapojen vinosta jakaumasta havaintoaineistossa.

Uusia matkustuskäyttäytymistä selittäviä muuttujia ei löydetty. Sen sijaan muutamista pääkaupunkiseudulla käytetyistä muuttujista voitiin Oulussa luopua. Tällaisia olivat työsuhdeauton omistus, pysäköintisuhdeluku sekä pysäköintimuuttuja. Koska pysäköintipolitiikalla ei voida juuri vaikuttaa pienten ja keskisuurten kaupunkien kulkutapajakaumaan, eikä kysynnän ja tarjonnan suhde ole yhtä epäedullinen kuin suurissa kaupungeissa, joissa pysäköintipaikoista on usein pulaa, pysäköintimuuttuja voitaneen jättää pienten ja useimpien keskikokoisten kaupunkien malleista pois. Tällöin pysäköintikustannuksia tarkastellaan henkilöauton kustannusten yhteydessä.

Kohdealueen matkatottumustutkimukset

Tutkimusten suoritustapa Oulussa ja pääkaupunkiseudulla vastasi pitkälti toisiaan. Joitakin eroja kuitenkin oli. Oulussa ruokakuntakohtaisia tietoja ei kysytty alle 18-vuotiailta. Pääkaupunkiseudulla muilla kotiperäisillä matkoilla yli 17-vuotiaista 33,9 % ja alle 18-vuotiaista 51,3 % kulki jalan tai pyörällä. Vastaavat joukkoliikenteen osuudet olivat alle 18-vuotiailla 25,6 % ja yli 18-vuotiailla 51,5 %. Näin ollen alle 18-vuotiaiden puuttuminen Oulun aineistosta vähentää muilla kotiperäisillä matkoilla kevytliikenteen suhteellista osuutta.

Yksittäisistä muuttujista ongelmallisimmaksi osoittautui ruokakunnan tulojen arviointi. Oulun seudulla oli kysytty matkantekijän tuloja, kun taas pääkaupunkiseudulla oli kysytty ruokakunnan tuloja. Oulussa ruokakunnan tuloja ei onnistuttu estimoimaan haastatteluaineiston ja tilastotietojen perusteella, minkä vuoksi sellaisten mallien siirtämisestä luovuttiin, joissa tietoa ruokakunnan tuloista olisi tarvittu.

Kevytliikenteen osalta ongelmia aiheutti pyöräilyn suuri osuus jalankulkuun verrattuna. Oulun työmatkoilla kevytliikenteen osuus oli 44 %, josta pyöräilijöitä oli 84 %. Vastaavat osuudet pääkaupunkiseudulla olivat 14 % ja 40 %. Oulussa oltiin myös pääkaupunkiseutua halukkaampia tekemään pitkiäkin kevytliikennematkoja, vaikka matka autolla tai bussilla olisi ollut nopeampi. Jos jalankulkijoiden määrä Oulussa todella on niin pieni kuin se tutkimuksen mukaan oli, ei otoskoko ollut riittävä, jotta jalankulkijoiden käyttäytymistä pystyttäisiin mallintamaan luotettavasti.

On kuitenkin mahdollista, että haastatteluaineisto ei ollut kevytliikenteen osalta edustava tai painottui jalankulun ja pyöräilyn kesken väärin. Muun muassa Ruotsissa ja Norjassa vuonna 1990 tehdyissä tutkimuksissa on todettu, että postikyselyssä hyvinkin suuri osa jalankulku- ja pyöräilyhavainnoista saattaa jäädä pois.

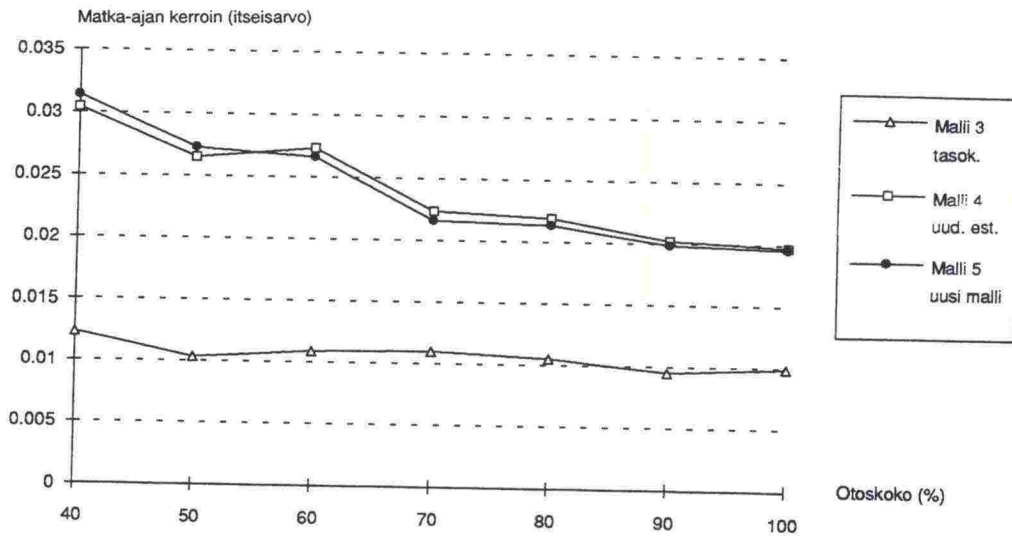
Tulevaisuudessa tulisikin korostaa entistä enemmän tutkimusten teon yhteydessä myös tutkimusmenetelmien kehittämistä ja yhdenmukaistamista, jotta eri tutkimusten tulokset olisivat paremmin vertailukelpoisia. Samalla tulisi selvittää, mitä erityisvaatimuksia mallien siirtäminen asettaa aineiston keräykselle siirron kohdepaikkakunnalla.

Tutkimus osoitti, että vaikka Oulun liikennetutkimuksen haastattelumäärä oli kohtuullisen suuri, sekin oli riittämätön kaikkien pääkaupunkiseudulla käytettyjen osamallien estimointiin. Riittävä otoskoko riippuu mm. otantatavasta (esimerkiksi satunnaisotos tai valintaperusteinen otos), mallirakenteesta ja kulkutapajakaumasta (tasainen tai vino) sekä mallin käyttötarkoituksesta (uusi ennuste tai muutosten vaikutusten arviointi). Lisäksi on huomattava, että mallien siirrettävyyden tutkiminen edellyttää enemmän havaintoja kuin mallien siirto käytännössä.

Olennaista mallien estimoinnin kannalta on, että kaikissa tarkastelluissa vaihtoehtoissa on riittävä määrä havaintoja. Jos kulkutapajakauma on hyvin epätasainen, tarvitaan enemmän havaintoja kuin melko tasaisesti jakautuneilla valintaosuuksilla. Toinen vaihtoehto on ottaa nk. valintaperusteinen otos, jossa jokin kulkutapa on yliedustettuna. Valintaperusteisen otoksen perusteella estimoitujen mallien kertoimien estimaattien oletetaan olevan tarkentuvia. Sen sijaan vaihtoehtokohtaiset vakiot joudutaan korjaamaan mallin estimoinnin jälkeen siten, että kulkutapaosuudet vastaavat todellisuutta.

Kuvassa 13 on tarkasteltu havaintoaineiston määrän vaikutusta matka-ajan kertoimen arvoon EHAP-ryhmän muilla kotiperäisillä matkoilla. Satunnaisotokset saatiin vähentämällä henkilöauton ja kevytliikenteen valinneiden määrää 10 - 12 % kerrallaan siten, että enimmillään kaikista havainnoista oli poistettu 60 %. Koska joukkoliikenteen havaintojen määrään ei puututtu, kyseessä on valintaperusteinen otos.

Kuvasta havaitaan, että otoskoon ollessa 70 % (noin 500 havaintoa) alkuperäisestä, matka-ajan kertoimen arvo ei muuttunut kovin paljon. Tasokorjatussa mallissa (malli 3) kertoimen arvo säilyi melko vakaana (myös prosentuaalisesti) vielä tämänkin jälkeen. Koska muuttujien kertoimien muutokset otoskoon pienentyessä eivät ole yhdensuuntaisia, riittää tasokorjauskertoimen estimoimiseksi yleensä pienempi havaintoaineisto kuin, jos mallin kaikki kertoimet halutaan estimoida uudelleen. Sopivaa havaintoaineiston kokoa ei kuitenkaan voida määrittää tämän aineiston perusteella, koska alkuperäiset mallitkaan eivät mm. joukkoliikenteen pienen havaintomäärän vuoksi olleet täysin luotettavia.



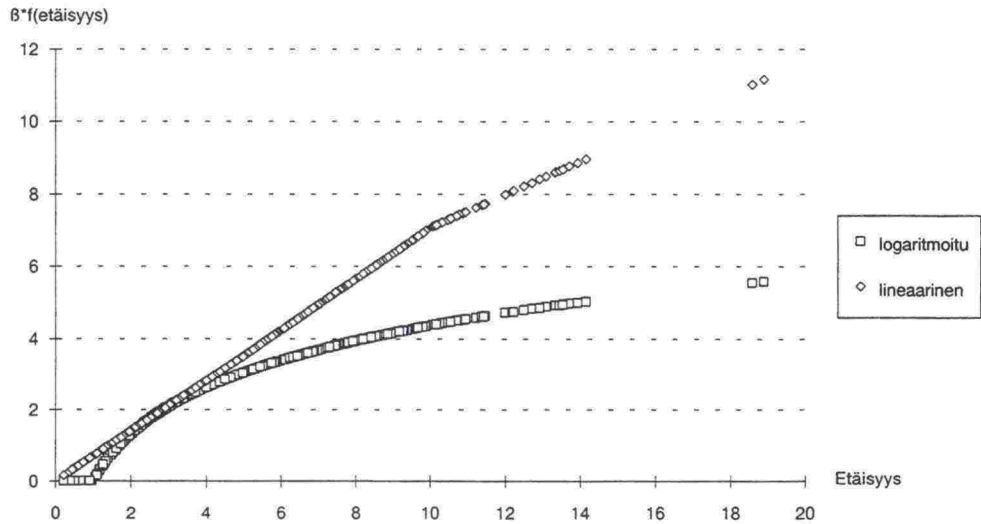
Kuva 13. Havaintoaineiston määrän vaikutus matka-ajan kertoimeen muiden kotiperäisten matkojen EHAP-ryhmän malleissa.

Testattaessa kertoimien poikkeavuutta tilastollisesti (kaava 12) merkitseviä eroja otosten välille ei saatu sellaisissakaan tapauksissa, joissa kerroin poikkesi alkuperäisestä kertoimesta usean hajonnan mitan verran. Tämä johtuu alkuperäisaineistosta estimoitujen mallien pienistä t-arvoista. Toisaalta kahdeksi osajoukoksi jaetuista aineistoista estimoitujen mallien kertoimet poikkesivat otoksesta riippumatta joukkona yhteisestä aineistosta tehdyn mallin kertoimista (kaava 16).

Valintaperusteisten otosten p^2 -arvo oli uudelleen estimoidulla mallilla (malli 4) 0,26 - 0,34 ja tasokorjatulla mallilla 0,24 - 0,33. Oikein ennustettujen valintojen osuus oli koko aineistolla 72,7 % ja 70 %:n otoksella 70,7 %.

Lähtöalueen mallit

Koska pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa on harvoin mahdollista kerätä kovin suuria havaintoaineistoja, mallien pitäisi olla helposti siirrettävissä pienelläkin havaintomäärällä. Lähtöalueen mallien muuttujien tulisi olla helposti ja yksikäsitteisesti määriteltäviä. Tutkimuksia tehtäessä tulisi päättää, käytetäänkö malleissa osa-aluekohtaisia aluekeskiarvoja vai henkilöhaastattelusta saatavia tietoja silloin, kun niitä on kysytty. Mallintamisen kannalta suositeltavaa on henkilöhaastattelusta saatavien tietojen käyttäminen, koska aluekeskiarvojen käyttö tasaa muuttujien vaihtelua, jolloin käyttäytymisestä saatava informaatio häviää, ja muuttujien kertoimet jäävät "liian" pieniksi. Malleja siirrettäessä on kuitenkin aina noudatettava lähtöalueen menettelytapaa. Rajoituksia lähtöalueen malleille asettaa myös vaatimus mallien ajallisesta siirrettävyydestä.



Kuva 14: Suppeissa työmatkamalleissa käytetyn lineaarisen ja logaritmisin etäisyysmuuttujan kuvaajat.

Oulussa myös jalankulun ja pyöräilyn erilaiset osuudet asettivat vaatimuksia lähtöalueen malleille. Pääkaupunkiseudun ennustemalleissa lähdettiin oletuksesta, että paloittain lineaarista etäisyysfunktiota voidaan kuvata likimääräisesti logaritmifunktiolla. Oulussa logaritmifunktio ei kuvannut paloittain lineaarista funktiota riittävän tarkasti (kuva 14).

Sopivan kuvaajan löytymistä vaikeutti Oulun poikkeuksellisen suuri kevytliikenteen ja varsinkin pyöräilyn osuus. Käytettäessä yhdistettyä kevytliikennemuuttujaa (jk+pp), paras tilanne mallien siirrettävyyden kannalta olisi, jos pyöräilyn ja jalankulun osuudet vastaisivat lähtöalueen jakaumaa. Jos jalankulun ja pyöräilyn keskinäinen suhde poikkeaa huomattavasti, voisi kuvitella, että reaktio kävelymatkaan ja toisaalta myös pyörämatkaan säilyy samanlaisena, mutta koska määräsuhteet ovat erilaiset, on painotettu lopputuloskin erilainen.

Etäisyysmuuttujan muodon vaikutusta on tarkasteltu yksityiskohtaisemmin taulukossa 25. Paloittain lineaariseksi etäisyysmuuttujaksi valittiin laajassa työmatkamallissa käytetty etäisyysmuuttuja (malli B), jossa etäisyyden vaikutusta on tarkasteltu erikseen alle ja yli 10 kilometrin mittaisille matkoille. Myös muita jakosuhteita kokeiltiin, mutta niiden vaikutus ei poikennut ratkaisevasti tässä esitetystä muuttujasta. Mallissa C etäisyyden arvoa on korjattu kertoimella, jolla Oulun ja pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmää kuvaavat muuttujat pyrittiin saattamaan yhdenmukaisiksi. Kerroin määriteltiin vertaamalla jalankulun ja pyöräilyn osuuksia kussakin etäisyysluokassa ja laskeamalla kullekin luokalle keskimääräinen painotettu nopeusarvo.

Taulukko 25: Suppeita työmatkamalleja estimoituina erilaisia kevytliikenteen etäisyysmuuttujia käyttäen (hav. lkm. 817).

Muuttuja	Malli A logaritmoitu etäisyysmuuttuja	Malli B pal. lineaarinen etäisyysmuuttuja	Malli C etäisyysmuuttuja skaalattu
Vakio kevytl.	1,866 (4,3)	-0,2296 (-0,4)	0,6578 (1,4)
Ln(etäisyys)	-1,896 (-7,7)		-2,382* (-9,1)
Etäisyys 0-10 km		-0,7054 (-8,5)	
Etäisyys > 10 km		-0,4601 (-1,9)	
Vakio henkilöauto	-1,740 (-3,9)	-3,182 (-5,9)	-2,456 (-5,3)
Matka-aika	-0,00630 (-0,7)	-0,03223 (-2,9)	-0,01753 (-1,8)
Kustannukset	-0,2418 (-4,4)	-0,4288 (-5,9)	-0,3445 (-5,8)
Autoa/rk	2,536 (10,4)	2,462 (10,1)	2,486 (10,2)
Vaihdot bussi	-0,3735 (-1,3)	-0,2465 (-0,8)	-0,3362 (-1,2)
$\rho^2(0)$	0,3662	0,3800	0,3815

(1,1)

t(0)

*

ln(b*etäisyys), missä

b=1, kun $1 \leq \text{etäisyys} < 2$ tai $\text{etäisyys} \geq 8$ b=0,9, kun $2 \leq \text{etäisyys} < 3$ tai $6 \leq \text{etäisyys} < 8$ b=0,55, kun $3 \leq \text{etäisyys} < 4$ b=0,8, kun $4 \leq \text{etäisyys} < 6$

Taulukosta havaitaan, että etäisyysmuuttujan valinta vaikutti huomattavasti kokonaismatka-ajan kertoimeen, joka pieneni, kun kevytliikenteen etäisyysmuuttujia logaritmoitiin. Matka-ajan arvo oli mallilla A 1,6 mk/tunti ja mallilla B 4,5 mk/tunti. Korjattu logaritmifunktio linearisoi etäisyysmuuttujaa, jolloin matka-ajan kerroin kasvoi jonkin verran. Matka-ajan arvo mallissa C oli 3,1 mk/tunti.

Koska keskimääräinen nopeus ja matkan pituus pyörällä ja jalan poikkeavat toisistaan huomattavasti, tulisi jalankulkua ja pyöräilyä käsitellä lähtöalueen malleissa erikseen, jolloin erilaisten kevytliikenteen osuuksien aiheuttamilta ongelmilta vältyttäisiin. Myös logaritmifunktion käyttöä tulisi välttää, jollei aineiston perusteella ole varmuutta sen soveltuvuudesta.

7 YHTEENVETO

Liikenne-ennustemallien siirrettävyydellä tarkoitetaan tiettyyn paikkaan tiettyä aikana tehdyn mallin soveltuvuutta käytettäväksi jossakin toisessa paikassa tai toisena ajankohtana. Suomessa mallien siirrettävyyttä on tutkittu lähinnä kirjallisuuden perusteella, mutta kokemukset Ruotsista, Ranskasta ja Hollannista ovat osoittaneet, että liikenne-ennustemalleja voidaan siirtää, jos alkuperäiset mallit ovat hyviä.

Tässä työssä tarkasteltiin pääkaupunkiseudulla vuosina 1988 ja 1994 tehtyjen kulkutapamallien siirrettävyyttä Ouluun. Tarkastelu perustui Oulussa vuonna 1989 tehtyyn matkatottumustutkimukseen, jonka perusteella mallit sovitettiin Oulun olosuhteisiin.

Matka-aikoina, matkojen pituuksina ja odotusaikoina käytettiin liikenneverkkojen malleista laskettuja arvoja. Sijoittelua varten matkamatriisit tehtiin erikseen iltaruuhkalle ja päiväliikenteelle, ja Oulun seudun tutkimuksessa käytetyt KAVL-viivytysfunktiot korvattiin pääkaupunkiseudun tutkimuksessa käytetyillä tuntiliikenteen viivytysfunktioilla. Joukkoliikenteen verkko tehtiin pienosa-aluejaolle Oulun seudun tutkimuksessa koodatun autoliikenteen verkon pohjalta. Reitti- ja aikataulutiedot saatiin Koskilinjat Oy:stä. Joukkoliikenteen matka-ajat saatiin joukkoliikenteen sijoittelusta lisäämällä henkilöautosijoittelusta saatuun matka-aikaan väylän luokasta ja nopeustasosta riippuva pysäkkikohtainen viivytys.

Mallien siirtoa testattiin kotiperäisillä työmatkoilla ja muilla kotiperäisillä matkoilla. Ei-kotiperäisten matkojen siirtämistä ei tarkasteltu, koska pääkaupunkiseudun malliaineistoon eivät ei-kotiperäisillä matkoilla kuuluneet kevytliikenteen matkat, joten tarkastelu Oulussa olisi rajoittunut kahteen kulkutapaan (henkilöauto ja bussi), joissa niistäkin toisessa (bussi) olisi ollut vain muutama havainto.

Siirtoa kokeiltiin pääkaupunkiseudun liikennetutkimuksen (LITU 88) yhteydessä tehdyillä perusmalleilla sekä vuonna 1994 suuntautumismallien jatkekehittelyssä tehdyillä suppealla työmatkamallilla. Tutkitut kulkutavat olivat kevytliikenne, henkilöauto ja bussi.

Mallien siirron kannalta olennaista Oulun liikennejärjestelmälle oli raideliikenteen puuttuminen. Pääkaupunkiseudun malleissa mukana olevan raideliikennevaihtoehdon pois jättäminen todettiin kuitenkin mahdolliseksi, koska logittimallin teorian mukaan kahden vaihtoehdon valintatodennäköisyyksien suhde ei riipu muiden vaihtoehtojen hyödyn suuruudesta. Malleja siirrettäessä vaatimuksia asettikin enemmän pääkaupunkiseudun ja Oulun toisistaan poikkeavat matkatottumukset. Oulussa 44,3 % matkoista tehtiin pyörällä tai jalan ja vain 5,2 % bussilla. Pääkaupunkiseudulla kevytliikenteen osuus oli 25,9 % ja joukkoliikenteen 34,5%.

Suurimmat erot Oulun ja pääkaupunkiseudun matkatottumustutkimusten välillä olivat haastatteluaineistojen koossa, haastattelujen kohdentumisessa ja joidenkin yksittäisten muuttujien kyselytavassa. Yksittäisistä muuttujista ongelmallisimmaksi osoittautui ruokakunnan tulojen estimointi. Pääkaupunkiseudulla oli kysytty ruokakunnan tuloja, kun taas Oulun seudulla oli kysytty

matkantekijän tuloja. Ruokakunnan tuloja yritettiin estimoida Oulun haastatteluaineistosta saatavien aluekeskiarvojen sekä miesten ja naisten tuloja koskevien erillisten tilastojen perusteella. Kummassakaan tapauksessa kyseisen muuttujan kerroin ei poikennut merkitsevästi nolasta, minkä vuoksi tutkimuksessa luovuttiin sellaisten mallien siirtämisestä, joissa tietoa ruokakunnan tuloista olisi tarvittu.

Lähtöaineistossa ongelmia aiheutti myös liikenneverkkomalleista saatujen matka-aikakomponenttien (ajoaika, liityntäkävely, odotusaika) epätarkkuus. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa, joissa ei ole kattavaa joukkoliikenneverkkoa ja vuorovälit ovat pitkiä, ei odotusaikoja voida matkojen sijoittelun yhteydessä määritellä kovin tarkasti, vaan kaikki tietylle alueelle saapuvat linjat ovat odotusaikojen puolesta yhtä kilpailukykyisiä, jolloin matkat jaetaan tasan kaikille mahdollisille linjoille. Näin ollen osa matkustajista sijoitellaan linjoille, joilla joutuu vaihtamaan, vaikka lähtö- ja määräpaikan välillä olisikin suora yhteys, jota todennäköisesti käytetään. Tällöin odotusaika lähtöpäässä pienenee, mutta vaihdon yhteydessä tulee ylimääräisiä odotus-aikoja. Seurauksena on myös vaihtojen merkityksen väheneminen malleissa. Oulun tapauksessa tilannetta korjattiin lisäämällä pysäkkisyöttöjä ja käyttämällä malleissa joukkoliikenteen valinneille henkilöhaastattelusta saatuja tietoja vaihtojen määristä.

Tutkimus osoitti, että vaikka Oulun liikennetutkimuksen haastattelumäärä oli kohtuullisen suuri, oli sekin riittämätön kaikkien pääkaupunkiseudulla käytettyjen osamallien estimointiin. Riittävä otoskoko riippuu mm. otantaperiaatteesta (esimerkiksi satunnaisotos tai valintaperusteinen otos), mallirakenteesta ja kulkutapajakaumasta sekä mallien käyttötarkoituksesta (uusi ennuste tai muutosten vaikutusten arviointi). Jos kulkutapajakauma on hyvin epätasainen kuten Oulussa, havaintoja tarvitaan melko paljon. Toinen vaihtoehto on ottaa nk. valintaperusteinen otos, jossa jokin kulkutapa on yliedustettuna. Valintaperusteisen otoksen perusteella estimoitujen mallien kertoimien estimaattien oletetaan olevan tarkentuvia. Sen sijaan vaihtoehtokohtaiset vakiot joudutaan korjaamaan mallin estimoinnin jälkeen siten, että mallin ennustamat kulkutapaosuudet vastaavat todellisuutta.

Havaintomäärän tarve riippuu myös mallien siirtotavasta siten, että mitä enemmän alkuperäisiä malleja halutaan korjata, sitä enemmän havaintoja tarvitaan. Tutkittaessa vain tietyn toimenpiteen aiheuttamia vaikutuksia, saattaa hyvinkin pieni esimerkiksi SP-menetelmällä tehty haastattelu riittää.

Koska tarkkaa tietoa tarvittavista havaintomääristä ja menetelmistä havaintomäärätarpeen vähentämiseksi ei ole, ja koska aineiston laatu ja määrä asettavat suurimmat rajoitukset mallien siirtämiselle, todettiin, että pääpainon mallien siirrettävyystudkimuksessa tulisi olla lähtöaineiston yhdenmukaisuuden ja sopivuuden kehittämisessä. Myös mahdollisuutta SP-aineistojen ja inkrementaalisten mallien käyttöön tulisi selvittää. Inkrementaalisten mallien etuna on, että tietoa tarvitaan vain niistä muuttujista, joita muutetaan.

Mallien siirtämisestä saadut tulokset osoittivat, että sekä kotiperäisten työmatkojen että muiden kotiperäisten matkojen mallit olivat siirrettävissä Ouluun, jos vaihtoehtokohtaiset vakiot estimoitiin uudelleen. Kulkutapajakaumien poikkeavuuden vuoksi mallien siirtäminen ilman vaihtoehtokohtaisten vakioiden uudelleenestimointia ei ollut mahdollista. Etäisyysmuuttujan ja sosioekonomisten muuttujien tasokorjaaminen paransi paikoin tuntuvastikin selityssastetta. Samalla se kuitenkin saattoi huonontaa mallien kykyä ennustaa muutosten vaikutuksia.

Liikennejärjestelmämuuttujien merkitys oli samansuuntainen kuin pääkaupunkiseudulla. Matka-aikakomponenttien (ajoaika, odotusaika, liityntäkävely) merkitystä ei kuitenkaan voitu arvioida luotettavasti tämän aineiston perusteella, koska joukkoliikennehavaintojen vähäisyyden vuoksi mallit olivat herkkiä pienillekin mallimäärittelyjen muutoksille. Oletettavasti parhaat tulokset keskikokoisissa ja pienissä kaupungeissa saadaan malleilla, joissa on tarkasteltu kokonaismatka-aikoja.

Kokonaan uusia matkustuskäyttäytymistä selittäviä muuttujia ei löydetty. Sen sijaan muutamista pääkaupunkiseudulla käytetyistä muuttujista voitiin Oulussa luopua. Tällaisia olivat työsuhdeauton omistus, pysäköintisuhdeluku sekä pysäköintimuuttuja. Koska pysäköintipolitiikalla ei juuri voida vaikuttaa pienten ja keskisuurten kaupunkien kulkutapajakautaan eikä kysynnän ja tarjonnan suhde ole yhtä epäedullinen kuin suurissa kaupungeissa, pysäköintimuuttuja voitaneen jättää pienten ja useimpien keskikokoisten kaupunkien malleista pois. Tällöin pysäköintikustannuksia tarkastellaan matkakustannusten yhteydessä.

Yksi keskeinen tekijä on myös kevytliikenteen etäisyysmuuttujan valinta. Nyt tehdyssä tutkimuksessa matka-ajan kerroin pieneni molemmissa matkaryhmissä selvästi, jos paloittain lineaarinen etäisyysfunktio korvattiin logaritmi-funktiolla. Johtopäätöksenä todettiin, että jalankulkua ja pyöräilyä tulisi lähtöalueen malleissa käsitellä erikseen, jolloin jalankulun ja pyöräilyn erilaisten osuuksien aiheuttamilta ongelmilta vältyttäisiin. Myös logaritmifunktion käyttöä tulisi välttää, jollei aineiston perusteella ole varmuutta sen soveltuvuudesta.

Koska pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa on harvoin mahdollista kerätä kovin suuria havaintoaineistoja, mallien pitäisi olla helposti siirrettävissä pienelläkin havaintomäärällä. Lähtöalueen mallien muuttujien tulisi tämän vuoksi olla helposti ja yksikäsitteisesti määriteltäviä. Tutkimuksia tehtäessä tulisi päättää, käytetäänkö malleissa osa-aluekohtaisia aluekeskiarvoja vai henkilöhaastattelusta saatavia tietoja silloin, kun niitä on kysytty. Rajoituksia lähtöalueen malleille asettaa myös vaatimus mallien ajallisesta siirrettävyydestä.

8 LÄHDELUETTELO

Algers S., Colliander J. ja Widlert S., (1987), Logitmodellen - Användbarhet och generaliserbarhet, Byggforskningsrådet, rapport R30:1987.

Algers S., Lindqvist J., Tretvik T. ja Widlert S., (1994), Överföring av trafikmodeller i Norden. Nordisk Ministerråd. TemaNord 1994:552.

Atherton T.J. ja Ben-Akiva M.E., (1976), Transferability and Updating of Disaggregate Travel Demand Models, Transportation Research Record, No.610, s.12-18.

Ben-Akiva M.E. ja Lerman S., (1985), Discrete Choice Analysis - Theory and Application to Travel Demand, M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts.

Brand D. ja Cheslow, M.D., (1981), Spatial, Temporal, and Cultural Transferability of Travel-Choice Models. In: Stopher P.R., Meyburg A.H. ja Brög W., (eds), New Horizons in Travel Behaviour Research, D.C. Heath and Co, Lexington, Massachusetts, s.687 - 691.

Brög W. ja Meyburg A.H., (1981), Consideration of Nonresponse Effects in Large-Scale Mobility Surveys. Transportation Research Record 807. Transportation Research Board. National research Council. Washington D.C., s. 39 - 45.

Granholm M., (1994), Matkojen suuntautumismallit, Logitti- ja vetovoimamallien vertailua, Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1994:14. Helsinki. 115 s.

Gunn H. ja Pol H, (1986), Model Transferability: The potential for increasing cost- effectiveness, Behavioural Research for Transport Policy, s.217 - 243.

Gunn H., (1991), Research into the Value of Travel Time Savings and Losses. The Netherlands 1985 to 1991. The Nordic Value of Time Seminar, Kirkkonummi, 20 s.

Hansen S., (1981), In Favor of Cross-Cultural Transferability of Travel-Demand Models. In: Stopher P.R., A.H. Meyburg och W Brög (eds), New Horizons in Travel Behaviour Research, D.C Heath and Co., Lexington Massachusetts, s.637 - 651.

Hague Consulting Group, (1990) An Investigation of Alternative Methods to Update Forecasting Models: Including the Use of Stated Preference Data, Hague.

Karasmaa N. ja Pursula, M., (1995), Liikenne-ennustemallien alueellinen siirrettävyys, kirjallisuustutkimus. Tielaitoksen selvityksiä 2/1995. Helsinki. 100 s.

Koppelman F.S., Kuah G-K. ja Wilmot C.G., (1985) Transfer Model Updating with Disaggregate Data, Transportation Research Record, No. 1037, s. 102 - 107.

Koppelman F.S., ja Wilmot C.G., (1982), Transferability Analysis of Disaggregate Choice Models, Transportation Research Record, No. 895, s18 - 24.

Liikenneministeriö (1990), Liikenteessä kuluvan ajan arvo. Kirjallisuusselvityksen loppuraportti. Helsinki. Liikenneministeriön julkaisuja 2/1990. 45 s. + liite.

Liikenneministeriö, (1992), Liikennemallien siirrettävyys, Liikenneministeriön julkaisuja 10/92. Helsinki. 84 s.

Liikenneministeriö, (1993), Ajan arvo pitkämatkaisessa henkilöliikenteessä. Liikenneministeriön julkaisuja 32/93. Helsinki. 64 s.

Liikenneministeriö, (1994), Ajan arvo lyhytmatkaisessa henkilöliikenteessä. Liikenneministeriön julkaisuja 1 51/94. Helsinki. 44 s. + liitteet.

The MVA Consultancy, Institute of Transport Studies (University of Leeds) ja Transport Studies Unit (University of Oxford), (1987), The Value of Travel Time Savings. London, Policy Journals. 221 s.

Ortúzar J. de D. ja Willumsen L.G., (1990), Modelling Transport, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, West Sussex.

Oulun tiepiiri, Oulun kaupunki, Pohjois-Pohjanmaan Seutukaavaliitto, Oulun yliopisto, Suunnittelukolmio Oy, (1990), Oulun seudun liikennetutkimus, osaraportti 2, Autoliikenteen laskennat. 31 s.

Oulun tiepiiri, Oulun kaupunki, Pohjois-Pohjanmaan Seutukaavaliitto, Oulun yliopisto, Suunnittelukolmio Oy, (1991 a), Oulun seudun liikennetutkimus, osaraportti 6, Ruokakuntahaastattelu. 50 s.

Oulun tiepiiri, Oulun kaupunki, Pohjois-Pohjanmaan Seutukaavaliitto, Oulun yliopisto, Suunnittelukolmio Oy, (1991 b), Oulun seudun liikennetutkimus, osaraportti 7, Mallit ja ennusteet. 55 s.

Parody T.E., (1977), An Analysis of Disaggregate Mode Choice Models in Prediction, Transportation Research Record, No.637, s 51 - 57.

Pekkarinen S., (1992a), Empirical Findings of the Determinants of the Variation in the Values of Travel Time Savings; an Application of Conditional Logit Models. XIV Kansantaloustieteen päivät. 23 s.

Pekkarinen S., (1992b), The Valuation of Travel Time in the Oulu City Transportation Study 1989-1990; an Application of Segmentation Analysis to the Variation in Values of Time. Manuscript. 21 s.

Pursula M., Widlert S., (1990), Nordiska efterfrågemodeller, Översikt och projektförslag.

Talvitie A., (1981), Refinement and application of individual choice models in travel demand forecasting. In: A guide to the development and application of disaggregate mode choice models. State University of New York at Buffalo.

Talvitie A., (1983), Liikenteen ennustemenetelmät ja niiden käyttö. In: Liikenne-ennusteet ja edullisuusvertailut. RIL K11-1983. s. 45 - 80.

Talvitie A.P. ja Kirshner D., (1978), Specification Transferability and the Effect of Data Outliers in Modelling the Choice of Mode in Urban Travel. Transportation 7, No.3 .

Tardiff T.J., (1979), Specification analysis for quantal choice models, Transportation Science, Vol. 13, No.3, s. 179 - 90.

Train K., (1978), A Validation Test of Disaggregate Mode Choice Model, Transportation Research, Vol. 12, No.3, s. 167 - 174.

YTV, (1990), Liikkumistottumukset pääkaupunkiseudulla, Henkilöhaastattelut v. 1988. Pääkaupunkiseudun liikennetutkimus 1988. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 1990:2. Helsinki. 92 s.

YTV, liikenneministeriö, (1991 a), Pääkaupunkiseudun liikennetutkimus 1988, Yhteenveto. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV, liikenneministeriö, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 1991:7. Helsinki. 130 s.

YTV, liikenneministeriö, (1991 b), Liikennemallit. Pääkaupunkiseudun liikennetutkimus 1988. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV, liikenneministeriö, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 1990:15. Helsinki, 230 s.

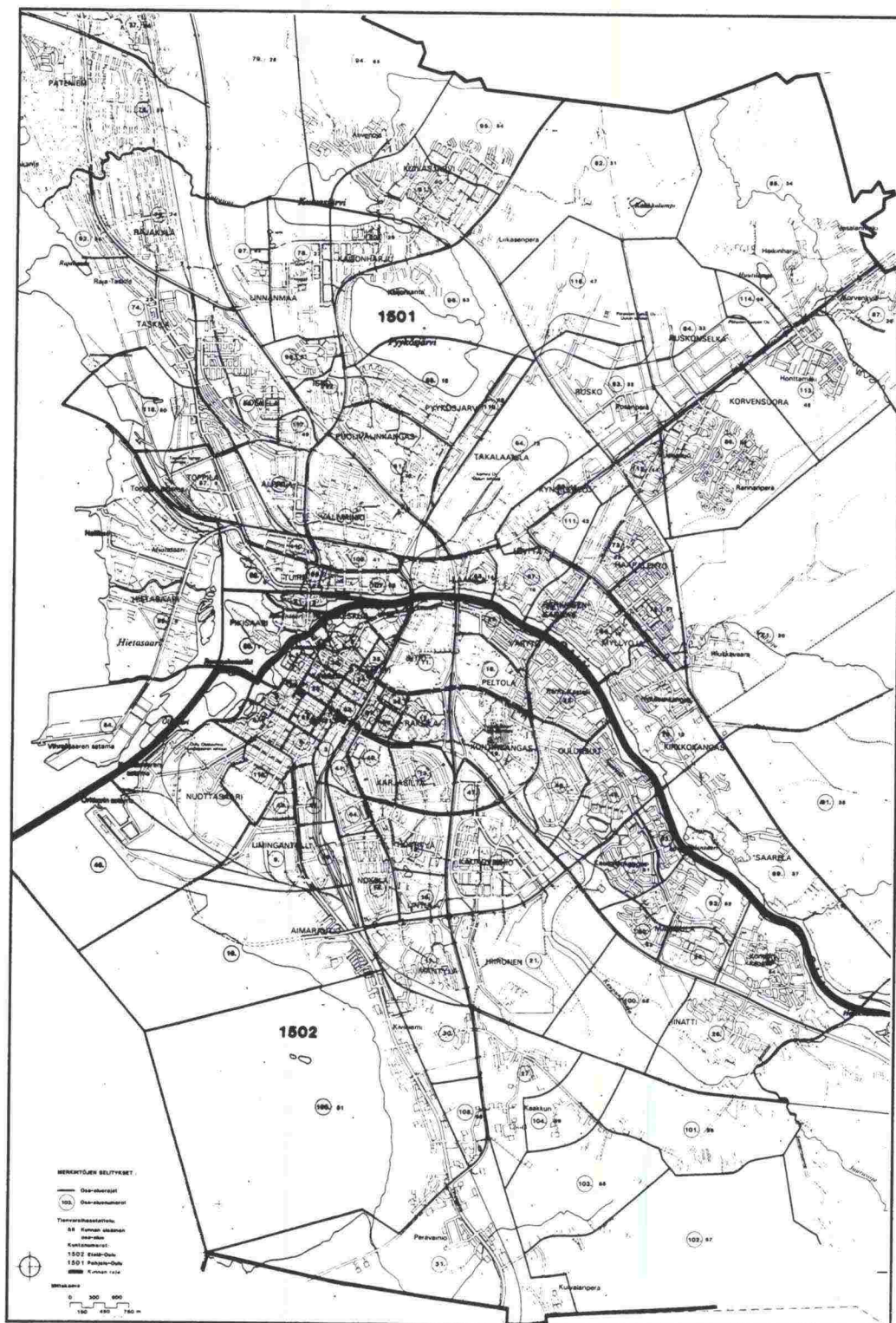
Widlert S., (1990), Överföring av modeller till Hälsingborg, Transek AB. 25 s.

9 LIITTEET

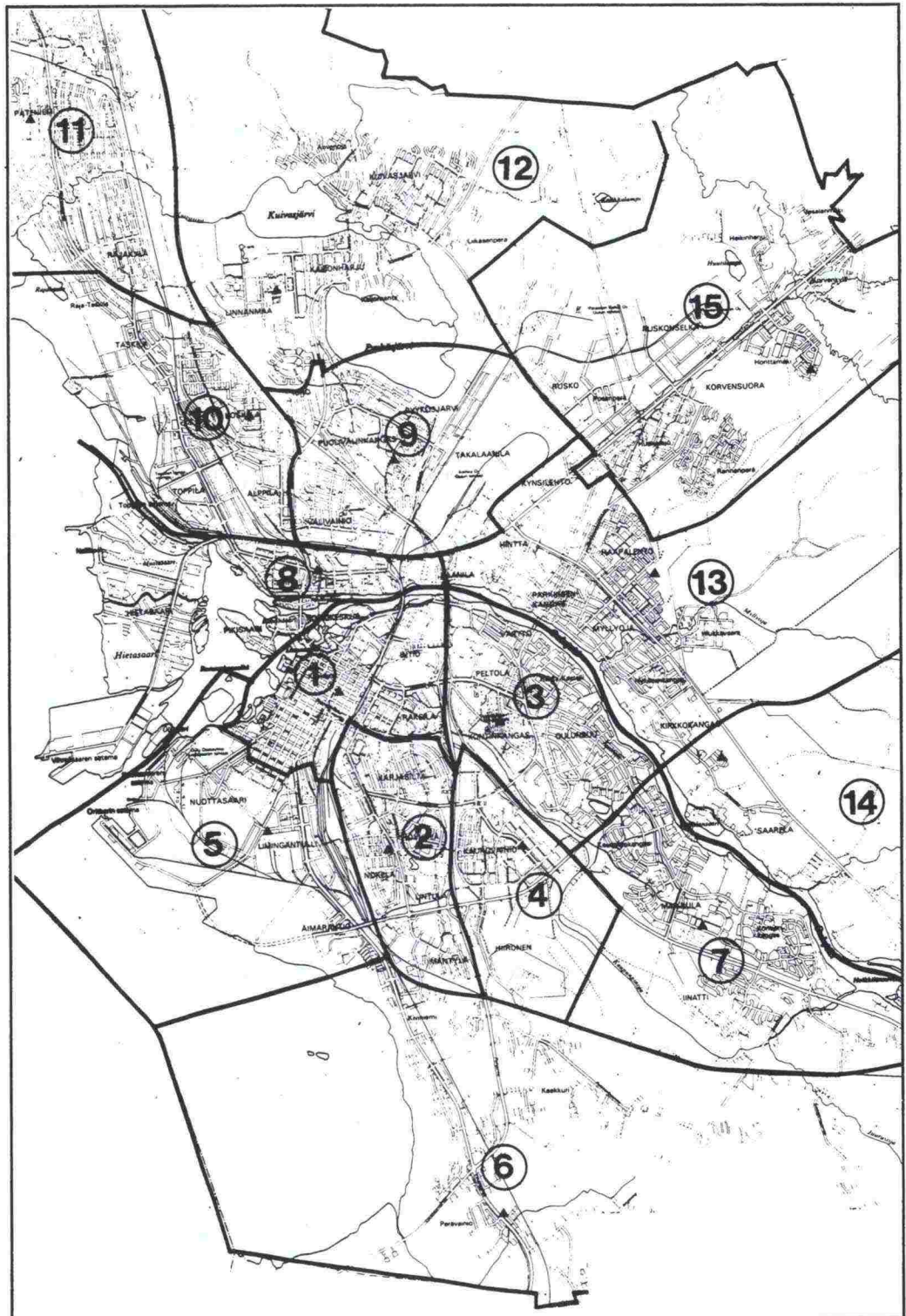
Liite	1.	Oulun seudun liikennetutkimuksen pienosa-aluejako
Liite	2.	Oulun seudun liikennetutkimuksen suurosa-aluejako
Liite	3.	Osa-alueiden sisäiset vastukset
Liite	4.	Mallien siirron yhteydessä käytetyt henkilöautoliikenteen viivytysfunktiot
Liite	5.	Mallien siirron yhteydessä käytettyjen autoliikenteen viivytysfunktioiden kuvaajat
Liite	6.	Kotiperäisten työmatkojen kulkutapamallien muuttujat
Liite	7.	Muiden kotiperäisten matkojen kulkutapamallien muuttujat

OULUN SEUDUN LIIKENNETUTKIMUKSEN PIENOSA-ALUEJAKO

[Oulun tiepiiri et al. 1991 b]



OULUN SEUDUN LIIKENNETUTKIMUKSEN SUUROSA-ALUEJAKO [Oulun tiepiiri et al. 1991 b]



OSA-ALUEIDEN SISÄISET VASTUKSET

Verkon kuvauksissa kukin aluesolmu (sentroidi) edustaa kokonaista kaupunginosaa tai muuta aluetta. Sijoittelu tuottaa vastukset alueilta kaikille muille alueille. Alueiden sisäisiä matkoja sijoittelussa ei käsitellä. Sisäiset vastukset on laskettu kullekin osa-alueelle erikseen.

Lähtökohtana oli seuraava määritelmä:

Sisäinen säde on 1/6 piiristä, jonka sisäpuolella on 80 % maankäytöstä.

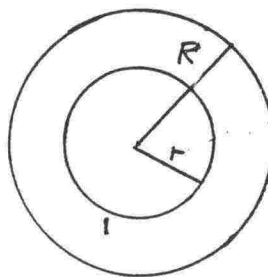
Tarvittava kaava on johdettu seuraavassa:

Olkoon ympyränmuotoisen alueen 2 sisällä alue 1, jonka pinta-ala on 80 % alueen 2 pinta-alasta. Alueen 1 säde on r ja alueen 2 säde R . Piirit ovat vastaavasti p_1 ja p_2 . Tällöin pinta-ala

$$\pi r^2 = 0,80\pi R^2 \text{ eli } r = R \sqrt{0,80}$$

ja alueen 1 piiri

$$\text{Sisäinen säde} = (1/6)p_2 \sqrt{0,80} \approx 0,15 p_2$$



Kunkin alueen rakennetun osan piirin pituus arvioitiin kartalta ja em. kaavaa hyväksikäyttäen laskettiin sisäisten säteiden arvot. Alueiden sisäinen matka-aika saatiin, kun sisäiset säteet jaettiin vakionopeudella 6 km/h eli kerrottiin luvulla 10 min/km.

MALLIEN SIIRRON YHTEYDESSÄ KÄYTETYT HENKILÖAUTO-LIIKENTEEEN VIIVYTYSFUNKTIOT

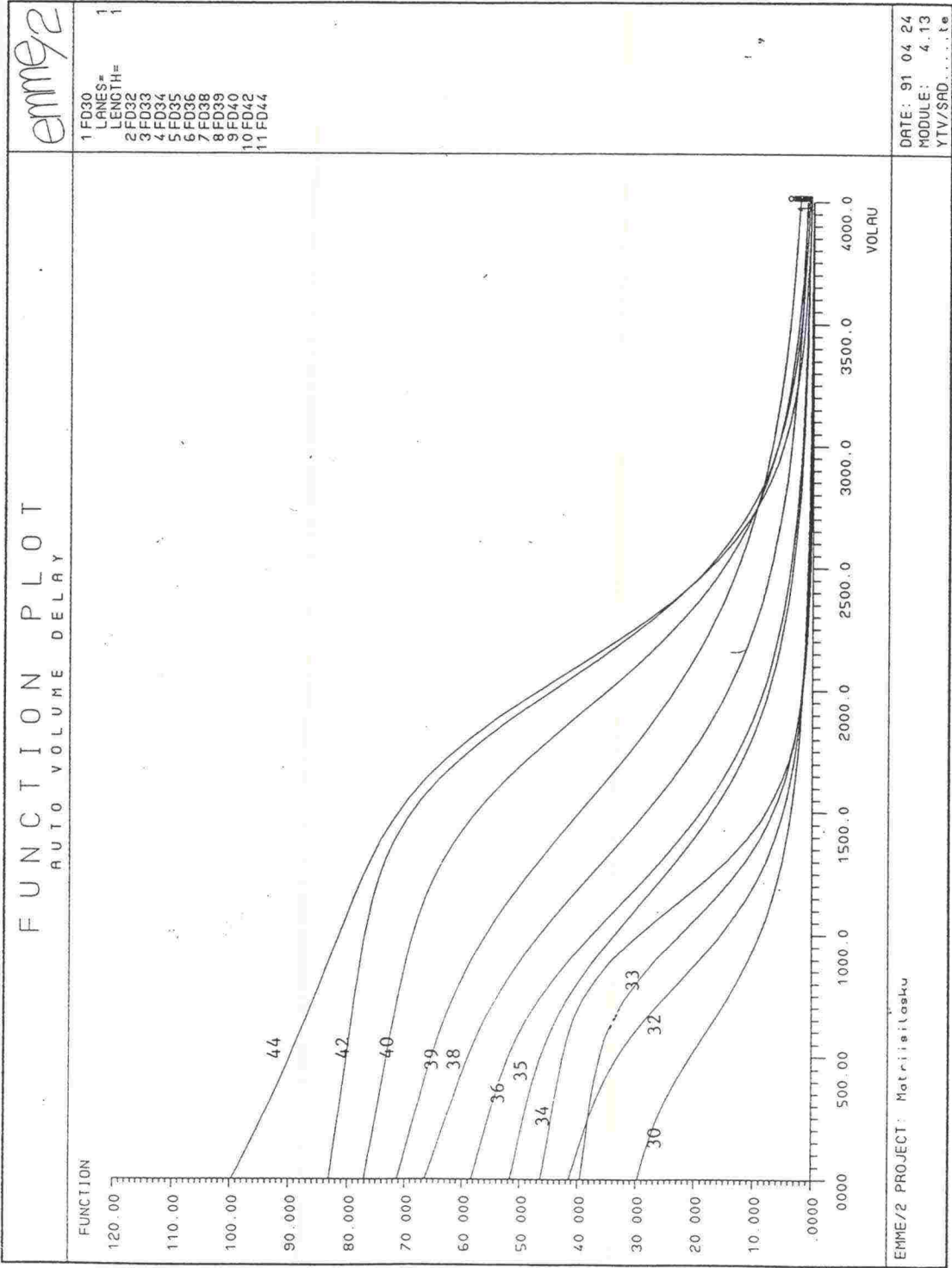
Autoliikenteen viivytysfunktiot kuvaavat linkin kulkemiseen kuluvaan aikaan minuutteina liikennemäärän (volau), kaistamäärän (lanes) ja linkin pituuden (length) funktiona.

Funktion numero ilmoitetaan linkkitiedostossa. Käytettyjen funktioiden kuvaajat (nopeus km/h liikennemäärän ajon/h/kaista funktiona) ovat liitteessä 5 ja vastaavat yhtälöt (matka-aika minuutteina) seuraavana:

$$\begin{aligned}fd30 &= (\text{volau}/\text{lanes}/1267 + 2 * (1 + (\text{volau}/\text{lanes}/802)^3)) * \text{length} + 1/60 \\fd32 &= (\text{volau}/\text{lanes}/2083 + 1,428 * (1 + (\text{volau}/\text{lanes}/928)^4)) * \text{length} + 1/60 \\fd33 &= (\text{volau}/\text{lanes}/4750 + 1,500 * (1 + (\text{volau}/\text{lanes}/1100)^5)) * \text{length} + 1/60 \\fd34 &= (\text{volau}/\text{lanes}/4743 + 1,277 * (1 + (\text{volau}/\text{lanes}/1162)^6)) * \text{length} + 1/60 \\fd35 &= (\text{volau}/\text{lanes}/4870 + 1,154 * (1 + (\text{volau}/\text{lanes}/1300)^4)) * \text{length} + 0,5/60 \\fd36 &= (\text{volau}/\text{lanes}/4870 + 1,020 * (1 + (\text{volau}/\text{lanes}/1300)^4)) * \text{length} + 0,5/60 \\fd38 &= (\text{volau}/\text{lanes}/4870 + 0,896 * (1 + (\text{volau}/\text{lanes}/1500)^4)) * \text{length} + 0,5/60 \\fd39 &= (\text{volau}/\text{lanes}/7000 + 0,833 * (1 + (\text{volau}/\text{lanes}/1750)^4)) * \text{length} + 0,5/60 \\fd40 &= (\text{volau}/\text{lanes}/12000 + 0,770 * (1 + (\text{volau}/\text{lanes}/2000)^6)) * \text{length} + 0,5/60 \\fd42 &= (\text{volau}/\text{lanes}/18808 + 0,7133 * (1 + (\text{volau}/\text{lanes}/2091)^7)) * \text{length} + 0,5/60\end{aligned}$$

Lausekkeen lopussa oleva vakio kuvaa liittymävastusta (0,5 tai 1,0 sekuntia/linkki)

MALLIEN SIIRRON YHTEYDESSÄ KÄYTETTYJEN AUTOLIIKEN-
TEEN VIIVYTYSFUNKTIOIDEN KUVAAJAT (nopeus km/h liikenne-
määrän ajon/h/kaista funktiona)



KOTIPERÄISTEN TYÖMATKOJEN KULKUTAPAMALLIEN MUUTTUJAT

Etäisyys 0-10	Kv	Jos yksisuuntaisen matkan pituus kävelyverkossa ≤ 10 km, muuttujan arvo on etäisyys. Jos yksisuuntaisen matkan pituus > 10 km, muuttujan arvo = 10.
Etäisyys 10-	Kv	Jos yksisuuntaisen matkan pituus ≤ 10 km, muuttujan arvo = 0. Jos yksisuuntaisen matkan pituus > 10 km, muuttujan arvo = etäisyys -10.
Ln(etäisyys)	Kv	Luonnollinen logaritmi yksisuuntaisen matkan pituudesta kävelyverkossa. Jos matkan pituus ≤ 1 km, muuttujan arvo = 0.
Etäisyysmuuttujan tasokorjaus	Kv	Valituille etäisyysmuuttujille estimoitu tasokorjauskerroin.
Liityntäkävely	Bs, Ha	Edestakaisen työmatkan eri vaiheisiin (joukkoliikenteessä myös asemien sisällä) sisältyvien kävelyaikojen summa (verkosta laskettuna), min.
Odotusaika	Bs	Edestakaiseen joukkoliikennematkaan liittyvien (verkosta laskettujen) odotusaikojen summa, min.
Ajoaika	Bs, Ha	Liikennevälineessä vietetty edestakaisen matkan kokonaismatka-aika (verkosta laskettuna), min.
Matka-aika	Bs, Ha	Edestakaisen työmatkan kokonaismatka-aika, min. Aika sisältää kävelyn, odotuksen ja ajoajan.
Liikennejärjestelmämuuttujien tasokorjaus	Bs, Ha	Ajo- tai matka-ajalle, liityntäkävelyille, odotusajalle ja vaihdoille estimoitu tasokorjauskerroin.
Kustannukset	Bs, Ha	Edestakaisen matkan kokonaiskustannukset (mk), ml. pysäköintikustannus matkan kodista poikkeavassa päässä.

Autoa/rk	Ha	Ruokakunnan käytettävissä olevien henkilöautojen määrä.
Vaihdot	Bs	Edestakaiseen linja-automatkaan liittyvien vaihtojen määrä (bussin valinneille henkilöhaastattelusta, muille verkosta laskettuna).
Sukupuoli	Ha	Matkan tehneen henkilön sukupuoli (1=mies, 0=nainen).
Dummy kv	Kv	Erottelumuuttuja, jonka arvo=1, kun valitaan kevyt liikenne ja arvo = 0 muulloin.
Dummy ha	Ha	Erottelumuuttuja, jonka arvo=1, kun valitaan henkilöauto ja arvo=0 muulloin.
Oma pys.paikka	Ha	Muuttujan arvo=1, jos matkan suorittajalla on työpaikalla varattu oma pysäköintipaikka, muulloin arvo=0.
Työsuhdeauto	Ha	Muuttujan arvo=1, jos matkan suorittajan ruokakunnassa on työsuhdeauto, muulloin arvo=0.
Muiden kulkutapa-muuttujien tasokorjaus	Bs, Ha	Sosioekonomisille muuttujille (autoa/rk, sukupuoli, työsuhdeauto, oma pys.paikka) estimoitu tasokorjauskerroin.

MUIDEN KOTIPERÄISTEN MATKOJEN KULKUTAPAMALLIEN MUUTTUJAT

Etäisyys 0 - 5	Kv	Jos yksisuuntaisen matkan pituus kävelyverkossa ≤ 5 km, muuttujan arvo on etäisyys. Jos yksisuuntaisen matkan pituus > 5 km, muuttujan arvo = 5.
Etäisyys 5 - 10	Kv	Jos yksisuuntaisen matkan pituus ≤ 5 km, muuttujan arvo = 0. Jos yksisuuntaisen matkan pituus on 5 - 10 km, muuttujan arvo=etäisyys-5. Jos yksisuuntaisen matkan pituus >10 km, muuttujan arvo=5.
Etäisyysmuuttujan tasokorjaus	Kv	Etäisyysmuuttujille estimoitu tasokorjauskerroin.
Kokonaisaika	Bs, Ha	Edestakaisen matkan kokonaismatka-aika, min. Aika sisältää kävelyn, odotuksen ja ajoajan.
Kustannukset	Bs, Ha	Edestakaisen matkan kokonaiskustannukset (mk), ml. pysäköintikustannus matkan kodista poikkeavassa päässä.
Autoa/rk	Ha	Ruokakunnan käytettävissä olevien henkilöautojen määrä.
Vaihdot bussi	Bs	Edestakaiseen linja-automatkkaan liittyvien vaihtojen määrä (henkilöhaastattelusta).
Liikennejärjestelmämuuttujien tasokorjaus	Bs, Ha	Ajo-tai matka-ajalle, liityntäkävelyille, odotusajalle ja vaihdoille estimoitu tasokorjauskerroin.
Sukupuoli	Ha	Matkan tehneen henkilön sukupuoli (1=mies, 0=nainen).
Dummy kv	Kv	Erottelumuuttuja, jonka arvo=1, kun valitaan kevyt liikenne ja arvo = 0 muulloin.
Dummy ha	Ha	Erottelumuuttuja, jonka arvo=1, kun valitaan henkilöauto ja arvo=0 muulloin.

Työsuhdeauto	Ha	Muuttujan arvo=1, jos matkan suorittajan ruokakunnassa on työsuhdeauto, muulloin arvo=0.
Muiden kulkutapa-muuttujien tasokorjaus	Bs, Ha	Sosioekonomisille muuttujille (autoa/rk, sukupuoli, työsuhdeauto) estimoitu tasokorjauskerroin

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 15/1995 Betonipäällysteen seuranta, vt 4 Kempele-Kiviniemi, seurantaraportti nro 2. TIEL 3200293
- 16/1995 Development of Good Governance in Road Sector in Finland. TIEL 3200294E
- 17/1995 Uudelleenpäällystämisen vaikutus kitkaan, nopeuksiin ja turvallisuuteen pääteillä. TIEL 3200295
- 18/1995 Teiden ja katujen liikenneturvallisuuteen perustuvat liikennekelpoisuus-vaatimukset. TIEL 3200296
- 19/1995 Teiden rakenteelliset normit ja ohjeet. TIEL 3200297
- 20/1995 Sään ja hydrologisten tekijöiden vaikutus kevätkelirikkoon. TIEL 3200298
- 21/1995 Käytännön kokemuksia tiensuunnittelun laatujärjestelmän soveltamisesta. TIEL 3200299
- 22/1995 Talvirengastutkimuksen täydennysosa; Nastarenkaiden ja kitkarenkaiden kulumisvertailu maantie- ja kaupunkiajossa sekä renkaiden kitkaominaisuuksien vertailu. TIEL 3200300
- 23/1995 Sään ja kelin vaikutukset eri ajoneuvoryhmien nopeuksiin. TIEL 3200301
- 24/1995 Hirvieläinonnettomuuksien vähentämismahdollisuudet. TIEL 3200302
- 25/1995 Näkökulmia vuorovaikutuksen kehittämiseen. TIEL 3200303
- 26/1995 Kaakkois-Suomen rajanylityspaikkojen tavaraliikenneselvitys. TIEL 3200304
- 27/1995 Nopeudennäyttö- ja turvavälitaulujen vaikutukset liikenteeseen. TIEL 3200305
- 28/1995 Kaakkois-Suomen raja-asemien henkilöliikennetutkimus.. TIEL 3200306
- 29/1995 Tiesuolan pohjavesivaikutusten mallintamistutkimukset Miekkamäen alueella. TIEL 3200307
- 30/1995 TPPT:n laatusuunnitelma. TIEL 3200308
- 31/1995 Yleisen tieverkon laajuus; Vähämerkityksiset tiet. Keskushallinto
- 32/1995 Tienpidon pitkän aikavälin suunnittelu Suomessa ja Ruotsissa. TIEL 3200309
- 33/1995 Pyöräilyn edistäminen Euroopassa; Esimerkkejä ja kokemuksia. TIEL 3200310
- 34/1995 Teiden suolauksen vähentämiskokeilu Savo-Karjalan tiepiirissä, loppuraportti. TIEL 3200311
- 35/1995 Auton yhdyskunta; Maankäytön ja liikenteen selvityksiä. TIEL 3200312.
- 36/1996 Muuttuvien kelivaroituserkkien vaikutukset liikennekäyttäytymiseen Turun tiepiirissä talvella 1993-1994. TIEL 3200313
- 37/1995 Tuntiliikenteen vaikutus liikenneturvallisuuteen. TIEL 3200314
- 38/1995 Liikenneturvallisuus ja tienpidon vaihtoehdot; Tutkimus erilaisten intressiryhmien näkemyksistä; Tulosraportti. TIEL 3200315
- 39/1995 Liikenneturvallisuus ja tienpidon vaihtoehdot; Menetelmäraportti. TIEL 3200316